O ACASO E A NECESSIDADE

JACQUES MONOD

Terá a Biologia alguma coisa a nos dizer sôbre o destino do Homem?

Um bom subtítulo para êste livro seria:
O ESCÂNDALO DA VIDA

Um livro escrito por um cientista, para cientistas e não-cientistas.
Discute os fundamentos de muitas das nossas «certezas».

O que poderá um biólogo dizer de tão importante sôbre a conduta do homem, a sociedade, a vida em comum, a religião, a filosofia ou o futuro da Humanidade?

«**Monod** não hesita em ir às últimas conseqüências das conclusões filosóficas e políticas de suas descobertas sôbre o «escândalo da vida». Entre elas denuncia a do marxismo como uma doutrina **não-científica** e mesmo, segundo êle, **não-socialista».**
(Le Nouvel Observateur).

«Êste livro mostra a mais significativa visão do ateísmo que se possa encontrar na literatura de hoje. Por outro lado, nenhum «crente» poderá ficar indiferente...» (La Croix).

LANÇAMENTO DA

EDITÔRA VOZES LTDA.

Rua Frei Luís, 100
Petrópolis/RJ
Brasil

o acaso e a necessidade

JACQUES MONOD

PRÊMIO NOBEL

3
758a
ed
2
N.Cham. 573 M758a 2. ed
Autor: Monod, Jacques
Título: O acaso e a necessidade : ensai
10271209 Ac. 141770
Ex.2 UEFS BCJC

Jacques Monod é professor no Collège de France e dirige o serviço de bioquímica celular do Instituto Pasteur que êle fundou em 1954. Foi neste Instituto que Monod desenvolveu os trabalhos que lhe valeram, juntamente com André Lwoff e François Jacob, o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina, em 1965.

Em todos os tempos as descobertas da ciência vão modificando as concepções que o homem tem de si mesmo e de sua relação com o universo. Veja-se o caso da descoberta de Galileu, que não só fêz cair a concepção de que o homem era o centro do universo, como também originou o nascimento da mecânica cartesiana e todo o posterior progresso da ciência.

O mesmo está acontecendo, hoje, com os novos dados obtidos pela genética moderna. A descoberta de como a informação se processa no nível molecular e de como funciona o código genético estão, mais uma vez, abalando as mais arraigadas concepções que temos sôbre nós mesmos e o mundo em que habitamos.

O livro de Monod — O Acaso e a Necessidade — é tão

Livraria Civilização Brasileira
RUA CHILE 23
BAHIA
LIVROS NACIONAIS E ESTRANGEIROS

N.º		
ANO	CUSTO	VENDA
17/21		15,00

O ACASO E A NECESSIDADE

ACERVO
Profº Nilo Reis

Nilo Henrique Neves dos Reis
26 01 2016

JACQUES MONOD

ACERVO
Profº Nilo Reis

O ACASO E A NECESSIDADE

Ensaio sôbre a filosofia natural da biologia moderna

ACERVO
Profº Nilo Reis

5 M758a 2. ed
ior: Monod, Jacques
tulo: O acaso e a necessidade :
10271209
141770
<2 UEFS BCJC

Tradução de
Bruno Palma e Pedro Paulo de Sena Madureira

EDITÔRA VOZES LTDA.
Petrópolis RJ
1971

UEES BIBLIOTECA 10271209 CENTRAL UEES

Título original francês
Le Hasard et la Nécessité
© Editions du Seuil, 1970

© 1971 da tradução brasileira
Editôra Vozes Ltda.
Petrópolis — RJ
Brasil

Tudo o que existe no universo é fruto do acaso e da necessidade.

Demócrito.

Nesse instante sutil em que o homem se volta para sua vida, Sísifo, regressando a seu rochedo, contempla essa seqüência de ações sem ligação que se torna seu destino, criado por êle, unido sob o olhar de sua memória, e logo selado por sua morte. Assim persuadido da origem totalmente humana de tudo o que é humano, cego que deseja ver e que sabe que a noite não tem fim, êle está sempre em marcha. O rochedo ainda rola. Deixo Sísifo no sopé da montanha! A gente sempre reencontra seu fardo. Mas Sísifo ensina a fidelidade superior que nega os deuses e levanta os rochedos. Êle também julga que tudo está bem. Êsse universo doravante sem senhor não lhe parece nem estéril nem fútil. Cada um dos grãos dessa pedra, cada clarão mineral dessa montanha cheia de noite, por si só basta para plenificar um coração de homem. Cumpre imaginar Sísifo feliz.

Albert Camus, *O Mito de Sísifo.*

PREFÁCIO

Entre as ciências, a biologia ocupa um lugar ao mesmo tempo marginal e central. Marginal, no sentido em que o mundo vivo constitui apenas parte ínfima e bastante «especial» do universo conhecido, de sorte que o estudo dos sêres vivos parece que jamais deve revelar leis gerais, aplicáveis fora da biosfera. Mas, se a ambição última de tôda ciência é, como penso, a de elucidar a relação do homem com o universo, então devemos reconhecer à biologia um lugar central pois ela é, entre tôdas as disciplinas, a que tenta penetrar mais diretamente no cerne dos problemas que devem ser resolvidos antes mesmo que possa ser colocado o da «natureza humana» em têrmos diferentes dos da metafísica.

Por isso, a biologia é, para o homem, a mais significativa de tôdas as ciências. Sem dúvida, mais do que qualquer outra, ela já contribuiu para a formação do pensamento moderno, profundamente transtornado e definitivamente marcado em todos os domínios, filosófico, religioso e político, pelo advento da teoria da Evolução. No entanto, por mais seguros que estivéssemos, desde o fim do século XIX, a respeito de sua validade fenomenológica, a teoria da Evo-

lução, embora dominando tôda a biologia, permanecia como que em suspenso, enquanto não se elaborava uma teoria *física* da hereditariedade. A esperança de se chegar logo a isso parecia quase quimérica há trinta anos, apesar dos sucessos da genética clássica. No entanto, é esta a contribuição atualmente dada pela teoria molecular do código genético. Tomo aqui «teoria do código genético» em sentido amplo, nêle incluindo não sòmente as noções relativas à estrutura química do material hereditário e da informação por êle trazida, mas também os mecanismos moleculares de expressão morfogenética e fisiológica, desta informação. Assim definida, a teoria do código genético constitui a base fundamental da biologia. Isto não significa, bem entendido, que as estruturas e funções complexas dos organismos possam ser *deduzidas* da teoria, nem mesmo que elas sempre sejam analisáveis diretamente segundo a escala molecular. (Não podemos predizer nem resolver tôda a química com a ajuda da teoria quântica que, entretanto, sem dúvida alguma constitui sua base universal).

Contudo, se hoje em dia a teoria molecular do código não pode (e sem dúvida jamais poderá) predizer e resolver tôda a biosfera, constitui desde já uma teoria geral dos sistemas vivos. Nada de semelhante havia no conhecimento científico anterior ao advento da biologia molecular. O «segrêdo da vida» podia então parecer inacessível em seu próprio princípio. Atualmente êle está em grande parte desvendado. Êste extraordinário acontecimento deveria, ao que parece, ter uma enorme repercussão no pensamento contemporâneo a partir do momento em que a significação geral e o alcance da teoria fôssem compreendidos e analisados para além do círculo dos puros especialistas. Espero que o presente ensaio possa contribuir para isso. Com efeito, o que tentei evidenciar não foram as próprias noções da biologia

mas sua «forma»; tentei igualmente explicitar suas relações lógicas com outros domínios do pensamento.

Hoje, é imprudente, por parte de um homem de ciência, empregar a palavra «filosofia», ainda que seja «natural», no título (ou mesmo no subtítulo) de uma obra. Certamente ela será acolhida com desconfiança pelos homens de ciência e, na melhor das hipóteses, com condescendência pelos filósofos. Tenho apenas uma justificativa, mas creio ser legítima: o dever que se impõe, hoje mais do que nunca, aos homens de ciência, de pensar sua disciplina dentro do conjunto da cultura moderna para enriquecê-la não só de conhecimentos tècnicamente importantes, mas também das idéias provenientes de sua ciência, que eles podem crer humanamente significativas. A própria ingenuidade de um olhar nôvo — e o da ciência o é sempre — às vêzes pode lançar uma nova luz sôbre antigos problemas.

É preciso que evitemos tôda confusão entre as idéias *sugeridas* pela ciência e a própria ciência. Mas também é preciso que não tenhamos receio de levar aos seus limites as conclusões que a ciência autoriza, a fim de revelar sua plena significação. Êste é um exercício difícil. Não pretendo desincumbir-me dêle sem erros. Digamos que a parte estritamente biológica do presente ensaio de forma alguma é original. O que fiz foi apenas resumir noções consideradas como estabelecidas na ciência contemporânea. A importância relativa atribuída a diferentes desenvolvimentos, como a escolha de exemplos propostos, refletem, é verdade, tendências pessoais. Capítulos importantes da biologia nem mesmo são mencionados. Uma vez mais, êste ensaio de forma alguma pretende expor a biologia em sua integralidade, mas tenta francamente extrair a quintessência da teoria molecular do código. Sou o responsável pelas generalizações ideológicas que dela acreditei poder deduzir. Mas acho

que não me engano dizendo que estas interpretações, contanto que não saiam do domínio da epistemologia, encontrarão o assentimento da maioria dos biologistas modernos. O que posso fazer é assumir a plena responsabilidade pelos desenvolvimentos de ordem ética e até mesmo política, que não quis evitar, por mais perigosos que fôssem ou ingênuos ou demasiado ambiciosos que pudessem parecer, contra a minha vontade: a modéstia convém ao sábio, mas não às idéias que o habitam e que êle *deve* defender. No entanto, ainda aí, tenho a certeza confortadora de estar totalmente de acôrdo com certos biologistas contemporâneos cuja obra merece o máximo respeito.

Devo pedir a indulgência dos biologistas para certos desenvolvimentos que lhes pareçam fastidiosos e a dos não-biologistas para a aridez da exposição de algumas noções «técnicas» inevitáveis. Os apêndices poderão ajudar certos leitores a superar estas dificuldades. Mas gostaria de insistir no fato de que sua leitura de forma alguma é indispensável para quem não tem que enfrentar diretamente as realidades químicas da biologia.

Êste ensaio baseia-se numa série de conferências (as «Robbins Lectures») pronunciadas em fevereiro de 1969 no Colégio Pomona, na Califórnia. Devo agradecer às autoridades dêste colégio por me terem oferecido a oportunidade de expor, diante de um público bastante jovem e vibrante, certos temas que há muito eram para mim objeto de reflexão, mas não de ensino. Também fiz dêstes temas o assunto de um curso no *Collège de France* durante o ano escolar 1969-1970. É uma bela e preciosa instituição que autoriza seus membros a ultrapassar algumas vêzes os limites do ensino que ela lhes confiou. Todos os meus agradecimentos a Guillaume Budé e a Francisco 1º.

Clos Saint-Jacques
abril 1970

I. OBJETOS ESTRANHOS

A distinção entre objetos artificiais e objetos naturais parece a cada um de nós imediata e sem ambigüidade. Rochedo, montanha, rio ou nuvem, são objetos naturais; uma faca, um lenço, um automóvel, são objetos artificiais, artefatos.[1]

o natural e o artificial

Se analisarmos êsses juízos, veremos, no entanto, que não são imediatos nem estritamente objetivos. Sabemos que a faca foi modelada pelo homem para uma utilização, para uma performance já prevista. O objeto materializa a intenção preexistente que lhe deu origem e sua forma se explica pela performance que dela se esperava antes mesmo que se realizasse. Nada disso ocorre em relação ao rio ou ao rochedo que sabemos ou pensamos terem sido modelados pelo livre jôgo de fôrças físicas a que não poderíamos atribuir nenhum «projeto». E isso, pelo menos, se aceitarmos o postulado de base do método científico: a Natureza é *objetiva* e não *projetiva*.

Portanto, é por referência a nossa própria atividade, consciente e projetiva, e é porque nós mesmos fabricamos artefatos, que julgamos que determinado

[1] No sentido próprio: produtos da arte, da indústria.

objeto é «natural» ou «artificial». De fato, seria possível definir com critérios objetivos e gerais as características dos objetos artificiais, produtos de uma atividade projetiva consciente, por oposição aos objetos naturais resultando do jôgo gratuito das fôrças físicas? Para nos certificarmos da total objetividade dos critérios escolhidos, sem dúvida seria melhor que nos perguntássemos se, utilizando-os, poderia ser elaborado um programa que permitisse a um computador distinguir um artefato de um objeto natural.

Semelhante programa poderia encontrar aplicações do mais alto interêsse. Suponhamos que uma nave espacial deva pròximamente pousar em Vênus ou em Marte; haveria uma questão mais interessante do que a de sabermos se nossos vizinhos são ou foram numa época anterior habitados por sêres inteligentes, capazes de atividade projetiva? Para descobrir semelhante atividade, presente ou passada, evidentemente, deveríamos reconhecer seus *produtos,* por mais radicalmente diferentes que pudessem ser dos frutos de uma invenção humana. Ignorando tudo a respeito da natureza de tais sêres e dos projetos que êles poderiam ter concebido, seria preciso que o programa só utilizasse critérios muito gerais, fundados exclusivamente na estrutura e na forma dos objetos examinados, sem nenhuma referência à sua função eventual.

Vemos que os critérios a empregar são dois: 1º — regularidade; 2º — repetição.

Pelo critério de regularidade procuraríamos utilizar o fato de que os objetos naturais, modelados pelo jôgo das fôrças físicas, quase nunca apresentam estruturas geomètricamente simples: superfícies planas, arestas retilíneas, ângulos retos, simetrias exatas, por exemplo; enquanto que, em geral, os artefatos apresentariam tais características, mesmo que fôsse de modo aproximado e rudimentar.

O critério de repetição seria, sem dúvida, o mais decisivo. Materializando um projeto renovado, artefatos homólogos, destinados ao mesmo uso, reproduzem com certas aproximações as intenções constantes de seu criador. A êste respeito, a descoberta de numerosos exemplares de objetos com formas bastante definidas seria, portanto, muito significativa.

Poderiam ser êstes, brevemente definidos, os critérios gerais utilizáveis. Além disso, devemos precisar que os objetos a examinar seriam de dimensões *macroscópicas* e não *microscópicas.* Por «macroscópicas» devemos entender dimensões mensuráveis, digamos, em centímetros; por «microscópicas», dimensões que exprimiríamos normalmente em Angström (1 cm = 10^8 Angström). Esta precisão é indispensável porque, em escala microscópica, estaríamos diante de estruturas atômicas ou moleculares cujas geometrias simples e repetitivas não testemunhariam, evidentemente, nenhuma intenção consciente e racional, mas leis da química.

as dificuldades de um programa espacial

Suponhamos o programa escrito e a máquina realizada. Para pôr suas performances à prova, não poderíamos encontrar nada melhor que fazê-la operar sôbre objetos terrestres. Invertamos nossas hipóteses e imaginemos que a máquina tenha sido construída pelos peritos da NASA marciana, desejosos de detectar sôbre a Terra os testemunhos de uma atividade organizada, criadora de artefatos. E suponhamos que a primeira nave marciana aterrise na Floresta de Fontainebleau, por exemplo, perto da aldeia de Barbizon. A máquina examina e compara as duas séries de objetos dentre os mais extraordinários das redondezas: de um lado, as casas de Barbizon; do outro, os rochedos de Apremont. Utilizando os critérios de regularidade, de simplicidade geométrica e de repetição, ela decidirá fàcilmente que os rochedos são objetos naturais, enquanto que as casas são artefatos.

Voltando agora a sua atenção para objetos de dimensões mais reduzidas, a máquina examina algumas pedrinhas ao lado das quais descobre cristais, digamos quartzo. Segundo os mesmos critérios, evidentemente, ela deverá decidir que, se as pedras são naturais, os cristais de quartzo são objetos artificiais. Êste é um julgamento que parece testemunhar um «êrro» na estrutura do programa. «Êrro» cuja origem, aliás, é interessante: se os cristais apresentam formas geométricas perfeitamente definidas, é porque sua estrutura macroscópica reflete diretamente a estrutura microscópica simples e repetitiva dos átomos ou moléculas que os constituem. O cristal, em outros têrmos, é a expressão macroscópica de uma estrutura microscópica. Aliás, êste «êrro» seria muito fácil de ser eliminado, pois tôdas as estruturas cristalinas *possíveis* são conhecidas.

Mas suponhamos que a máquina estude agora outro tipo de objeto: uma colmeia de abelhas selvagens, por exemplo. Evidentemente ela descobrirá aí todos os critérios de uma origem artificial: estruturas geométricas simples e repetitivas dos favos e das células constituintes através das quais a colmeia seria classificada na mesma categoria de objetos que as casas de Barbizon. O que pensar dêste juízo? Sabemos que a colmeia é «artificial», no sentido em que representa o produto da atividade das abelhas. Mas temos boas razões para pensar que esta atividade é estritamente automática, atual mas não conscientemente projetiva. No entanto, como bons naturalistas, consideramos as abelhas sêres «naturais». Não há uma flagrante contradição em considerar artificial o produto da atividade automática de um ser «natural»?

Levando adiante a investigação, veríamos logo que, se há contradição, ela não resulta de um êrro de programação, mas da ambigüidade de nossos juízos. Porque, se a máquina examina agora não mais a colmeia, mas as próprias abelhas, só poderá ver aí objetos artificiais altamente elaborados. O mais superficial exame revelará, na abelha, elementos evidentes de simetria simples: bilateral e translacional. Além disso e sobretudo, examinando abelha por abelha, o programa descobrirá que a extrema complexidade de sua estrutura (número e posição dos pêlos abdominais, por exemplo, ou nervuras das asas) acha-se reproduzida de um indivíduo a outro com uma extraordinária fidelidade. Esta é a prova mais segura de que êstes sêres são os produtos de uma atividade deliberada, construtora e da mais requintada ordem. A máquina, baseando-se em documentos tão decisivos, poderia apenas informar aos oficiais da NASA marciana sua descoberta, sôbre a Terra, de uma indústria em relação à qual a sua sem dúvida pareceria primitiva.

A digressão que acabamos de fazer através do que é quase ficção científica destinava-se a ilustrar a dificuldade de definir a distinção que, no entanto, nos parece intuitivamente evidente, entre objetos «naturais» e «artificiais». De fato, baseados em critérios naturais (macroscópicos) sem dúvida é impossível chegarmos a uma definição do artificial que, embora incluindo todos os «verdadeiros» artefatos, tais como os produtos da indústria humana, excluiria objetos tão evidentemente naturais quanto as estruturas cristalinas, inclusive os próprios sêres vivos que, no entanto, desejaríamos igualmente classificar entre os sistemas naturais.

Refletindo sôbre a causa das confusões (aparentes?) a que levava o programa, sem dúvida pensaremos que elas são devidas ao fato de querermos limitá-lo exclusivamente a considerações de forma, de estrutura, de geometria, privando assim a noção de objeto artificial de seu conteúdo essencial: tal objeto se define, se explica, antes de tudo pela função que

está destinado a desempenhar, pela performance que dêle espera seu inventor. Entretanto, logo veremos que, programando doravante a máquina para que ela estude não sòmente a estrutura, mas as performances eventuais dos objetos examinados, chegaremos a resultados ainda mais decepcionantes.

objetos dotados de um projeto

Suponhamos, por exemplo, que êste nôvo programa permita efetivamente à máquina analisar corretamente as estruturas e as performances de duas séries de objetos, tais como cavalos correndo num campo e automóveis circulando numa estrada. A análise nos levaria à conclusão de que êstes objetos são estreitamente comparáveis porque uns e outros são concebidos para serem capazes de deslocamentos rápidos, ainda que sôbre superfícies diferentes, o que explica suas diferenças de estrutura. E se, para tomarmos outro exemplo, propuséssemos à máquina comparar as estruturas e as performances do ôlho de um vertebrado com as de um aparelho fotográfico, o programa só poderia reconhecer suas profundas analogias; lentes, diafragma, obturador, pigmentos fotossensíveis: os mesmos componentes só podem ter sido dispostos, nos dois objetos, para se obter dêles performances semelhantes.

Só citei êste exemplo, clássico entre muitos outros, de adaptação funcional nos sêres vivos, para sublinhar como seria arbitrário e estéril querermos negar que o órgão natural, o ôlho, não representa o têrmo de um «projeto» (o de captar imagens), ao passo que deveríamos reconhecer esta origem no aparelho fotográfico. Seria tanto mais absurdo quanto, em última análise, o projeto que «explica» o aparelho só pudesse ser o mesmo ao qual o ôlho deve sua estrutura. Todo artefato é um produto da atividade de um ser vivo que exprime, assim, e de modo particularmente evidente, uma das propriedades fundamentais que caracterizam todos os sêres vivos sem exceção: a de serem *objetos dotados de um projeto* que ao mesmo tempo êles representam em suas estruturas e realizam por suas performances (tais como, por exemplo, a criação de artefatos).

Em vez de recusarmos esta noção (como certos biologistas tentaram fazê-lo), é indispensável, ao contrário, que a reconheçamos como essencial à própria definição dos sêres vivos. Diremos que êstes se distinguem de tôdas as outras estruturas de todos os sistemas presentes no universo, por esta propriedade que chamaremos de *teleonomia*.

No entanto, observaremos que esta condição, se é necessária à definição dos sêres vivos, não é suficiente, pois não propõe critérios objetivos que possibilitariam distinguir os próprios sêres vivos dos artefatos, produtos de sua atividade.

Não basta notar que o projeto que dá origem a um artefato pertence ao animal que o criou, mas não ao próprio objeto artificial. Esta noção evidente ainda é bastante subjetiva, e a prova disso é que seria difícil utilizá-la no programa de uma calculadora: como decidiria ela que o projeto de captar imagens — projeto representado por um aparelho fotográfico — pertence a um objeto diferente do próprio aparelho? Sòmente pelo exame da estrutura acabada e pela análise de suas performances, é possível identificar o projeto, mas não seu autor.

Para chegar a isso, precisamos de um programa que estude não sòmente o objeto atual, mas sua origem, sua história e, para começar, seu modo de construção. Pelo menos em princípio, nada se opõe a que tal programa possa ser formulado. Mesmo que êsse programa fôsse bastante primitivo, êle permitiria discernir, entre um artefato por mais aperfeiçoado que seja e um ser vivo, uma diferença radical. Com efeito, a máquina não poderia deixar de constatar que

a estrutura macroscópica de um artefato (quer se trate de um favo de abelha, de uma barragem erigida por castores, de um machado paleolítico, ou de uma nave espacial) resulta da aplicação aos materiais que o constituem, de fôrças *exteriores* ao próprio objeto. A estrutra macroscópica, uma vez concluída, não testemunha fôrças internas de coesão entre átomos ou moléculas que constituem o material (e só lhe conferem suas propriedades gerais de densidade, dureza, ductilidade, etc.), mas fôrças *externas* que o *modelaram*.

máquinas que se constroem a si mesmas

Em contrapartida, o programa deverá registrar o fato de que a estrutura de um ser vivo resulta de um processo totalmente diferente, pois não deve quase nada à ação das fôrças exteriores, mas tudo, da forma genérica até o mínimo detalhe, a interações «morfogenéticas» internas ao próprio objeto. Por conseguinte, estrutura testemunhando um determinismo autônomo, preciso, rigoroso, implicando uma «liberdade» quase total em relação a agentes ou condições exteriores, certamente capazes de entravar êsse desenvolvimento, mas não de dirigi-lo ou de impor ao objeto vivo sua organização. Pelo caráter autônomo e espontâneo dos processos morfogenéticos que constroem a estrutura macroscópica dos sêres vivos, êstes se distinguem absolutamente dos artefatos, bem como da maioria dos objetos naturais cuja morfologia macroscópica resulta em grande parte da ação de agentes externos. E isso com apenas uma exceção: de nôvo, os cristais cuja geometria característica reflete as interações microscópicas interiores ao próprio objeto. Por êste único critério, os cristais seriam, pois, classificados com os sêres vivos, ao passo que artefatos e objetos naturais, modelados uns e outros por agentes externos, constituiriam outra classe.

Se por êste critério, bem como pelos de regularidade e de repetitividade, as estruturas cristalinas e as dos sêres vivos tivessem que ser aproximadas, isso poderia levar o programador a refletir, mesmo que ignorasse a biologia moderna: dever-se-ia perguntar se as fôrças internas, que conferem sua estrutura macroscópica aos sêres vivos, não teriam a mesma natureza que as interações microscópicas responsáveis pelas morfologias cristalinas. Que isso seja exatamente assim, constitui um dos principais temas desenvolvidos nos capítulos seguintes do presente ensaio. No momento, procuramos definir com critérios absolutamente gerais as propriedades macroscópicas que diferenciam os sêres vivos de todos os outros objetos no universo.

Tendo «descoberto» que um determinismo interno, autônomo, garante a formação das estruturas extremamente complexas dos sêres vivos, nosso programador, ignorando a biologia, mas informático de profissão, deveria necessàriamente ver que tais estruturas representam uma quantidade considerável de informação, cuja fonte cabe-lhe então identificar: porque tôda informação expressa, portanto recebida, supõe um emissor.

máquinas que se reproduzem

Admitamos que, prosseguindo sua investigação, êle faça enfim sua última descoberta: o emissor da informação expressa na estrutura de um ser vivo é *sempre* um outro objeto idêntico ao primeiro. Agora, êle identificou a fonte e reconheceu uma terceira propriedade notável dêstes objetos: o poder de reproduzir e transmitir *ne varietur* a informação correspondente à sua própria estrutura. Informação bastante rica, pois descreve uma organização excessivamente complexa, mas integralmente conservada de uma geração à seguinte. Designaremos esta propriedade pelo nome de *reprodução invariante* ou, simplesmente, de *invariância*.

Observaremos aqui que, pela propriedade de reprodução invariante, os sêres vivos e as estruturas cristalinas se encontram uma vez mais associados e opostos a todos os outros objetos conhecidos no universo. Com efeito, sabemos que certos corpos, em solução supersaturada, não se cristalizam, a não ser que germes de cristais tenham sido inoculados na solução. Ademais, quando se trata de um corpo capaz de cristalizar-se em dois sistemas diferentes, a estrutura dos cristais que surgirão na solução será determinada pela dos germes empregados. No entanto, as estruturas cristalinas representam uma quantidade de informação inferior em várias ordens de grandeza à estrutura que é transmitida de uma geração à outra nos sêres vivos mais simples que conhecemos. Êste critério, puramente quantitativo, devemos sublinhar, permite-nos distinguir os sêres vivos de todos os outros objetos, inclusive dos cristais.

◈

Deixemos agora entregue às suas reflexões o programador marciano, suposto ignorar a biologia. Esta experiência imaginária tinha ùnicamente por objetivo obrigar-nos a «redescobrir» as propriedades mais gerais que caracterizam os sêres vivos e os distinguem do resto do universo. Reconheçamos agora que conhecemos a biologia (tanto quanto pode ser conhecida hoje em dia) para analisar de mais perto e tentar definir de modo mais preciso, se possível quantitativo, as propriedades em questão. Descobrimos três propriedades: teleonomia, morfogênese autônoma, invariância reprodutiva.

propriedades estranhas: invariância e teleonomia

Dessas três propriedades, a *invariância* reprodutiva é a mais fácil de ser definida quantitativamente. Uma vez que se trata da capacidade de reproduzir uma estrutura de alto grau de ordem, e uma vez que

o grau de ordem de uma estrutura pode ser definido em unidades de informação, diremos que o «conteúdo de invariância» de uma determinada espécie é igual à quantidade de informação que, transmitida de uma geração à seguinte, garante a conservação da norma estrutural específica. Veremos que, através de certas hipóteses, é possível chegar a uma estimativa dessa grandeza.

Esta colocação vai permitir-nos circunscrever a noção que se impõe com a máxima evidência imediata pelo exame das estruturas e das performances dos sêres vivos: a de teleonomia. Noção que, no entanto, quando analisada, se revela profundamente ambígua, pois implica a idéia subjetiva de «projeto». Evoquemos o exemplo do aparelho fotográfico: se admitimos que a existência dêste objeto e sua estrutura realizam o «projeto» de captar imagens, evidentemente devemos admitir que um «projeto» semelhante realiza-se na emergência do ôlho de um vertebrado.

Mas todo projeto particular, qualquer que seja, só tem sentido como parte de um projeto mais geral. Tôdas as adaptações funcionais dos sêres vivos, bem como todos os artefatos modelados por êles, realizam projetos particulares que é possível considerarmos como aspectos ou fragmentos de um projeto primitivo único, que é a conservação e a multiplicação da espécie.

Para sermos mais precisos, optaremos por definir arbitràriamente o projeto teleonômico essencial como o que consiste na transmissão, de uma geração à outra, do conteúdo de invariância característico da espécie. Tôdas as estruturas, tôdas as performances, tôdas as atividades que contribuem para o sucesso do projeto essencial serão, portanto, chamadas de «teleonômicas».

Isso nos possibilita propor uma definição de princípio do «nível» teleonômico de uma espécie. Com

efeito, podemos considerar que tôdas as estruturas e performances teleonômicas correspondem a determinada quantidade de informação, que deve ser transferida para que estas estruturas sejam realizadas e estas performances cumpridas. Chamemos esta quantidade de «a informação teleonômica». Podemos então considerar que o nível teleonômico de uma espécie dada corresponde à quantidade de informação que deve ser transferida, em média, por indivíduo, para garantir a transmissão à geração seguinte do conteúdo específico de invariância reprodutiva.

Veremos fàcilmente que a realização do projeto teleonômico fundamental (isto é, a reprodução invariante) põe em funcionamento, em espécies diferentes e nos diferentes graus da escala animal, estruturas e performances variadas, mais ou menos elaboradas e complexas. Devemos insistir no fato de que não se trata sòmente das atividades diretamente ligadas à reprodução pròpriamente dita, mas de tôdas as que contribuem, mesmo indiretamente, para a sobrevivência e a multiplicação da espécie. Por exemplo, o jôgo entre os jovens mamíferos superiores é um elemento importante de desenvolvimento psíquico e de inserção social. Portanto, tem um valor teleonômico como participante da coesão do grupo, condição de sua sobrevivência e da expansão da espécie. É o grau de complexidade de tôdas essas performances ou estruturas, concebidas como tendo por função servir ao projeto teleonômico, que se tratará de julgar.

Essa grandeza, teòricamente definível, na prática não é mensurável. Pelo menos, permite ordenar grosseiramente diferentes espécies ou grupos sôbre uma «escala teleonômica». Para tomar um exemplo extremo, imaginemos um poeta amoroso e tímido, que não ousa confessar seu amor à mulher que ama e que só sabe expressar seu desejo simbòlicamente, nos poemas que lhe dedica. Suponhamos que a môça, enfim seduzida por seus galanteios requintados, consinta em fazer amor com o poeta. Seus poemas terão contribuído para o sucesso do projeto essencial e a informação que êles continham deve, pois, ser contabilizada na soma das performances teleonômicas assegurando a transmissão da invariância genética.

É claro que o sucesso do projeto não comporta nenhuma performance análoga em outras espécies animais, o rato, por exemplo. Todavia, e êste é o ponto importante, o conteúdo de invariância genética é mais ou menos o mesmo no rato e no homem (de fato, em todos os mamíferos). *As duas grandezas que procuramos definir são, portanto, bem distintas.*

Isso nos leva a considerar uma questão muito importante concernente às relações entre as três propriedades que reconhecemos como características dos sêres vivos: teleonomia, morfogênese autônoma e invariância. O fato de que o programa utilizado as tem sucessiva e independentemente identificado não prova que sejam simplesmente três manifestações de uma mesma e única propriedade mais fundamental e mais secreta, inacessível a tôda observação direta. Se êste fôsse o caso, distinguir entre estas propriedades, procurar suas diferentes definições, não passaria de ilusão e de arbitrariedade. Longe de esclarecer os verdadeiros problemas, de circunscrever o «segrêdo da vida», de dissecá-lo verdadeiramente, estaríamos apenas exorcizando-o.

É perfeitamente verdade que estas três propriedades estão estreitamente associadas em todos os sêres vivos. A invariância genética só se exprime e só se revela através e graças à morfogênese autônoma da estrutura que constitui o aparelho teleonômico.

Uma primeira observação se impõe: o estatuto dessas três noções não é o mesmo. Se a invariância e a teleonomia efetivamente são «propriedades» características dos sêres vivos, a estruturação espontânea

deve antes ser considerada como um mecanismo. Aliás, nos capítulos seguintes veremos que o mecanismo intervém tanto na reprodução da informação invariante quanto na construção das estruturas teleonômicas. O fato dêsse mecanismo, em definitivo, explicar as duas propriedades não significa, no entanto, que elas devam ser confundidas. Permanece possível — e metodològicamente indispensável — distinguilas. Isso por várias razões:

1. Podemos pelo menos *imaginar* objetos capazes de reprodução invariante, mas desprovidos de todo aparelho teleonômico. As estruturas cristalinas nos dão um exemplo disso. Num nível de complexidade bastante inferior, é verdade, ao de todos os sêres vivos conhecidos.

2. A distinção entre teleonomia e invariância não é uma simples abstração lógica. Ela se justifica por considerações químicas. Com efeito, das duas classes de macromoléculas biológicas essenciais, uma, a das proteínas, é responsável por quase tôdas as estruturas e performances teleonômicas, ao passo que a invariância genética está vinculada exclusivamente à outra classe, a dos ácidos nucleicos.

3. Como veremos no capítulo seguinte, essa distinção é, enfim, explìcitamente ou não, suposta em tôdas as teorias, em tôdas as construções ideológicas (religiosas, científicas ou metafísicas) concernentes à biosfera e às suas relações com o resto do universo.

◈

Os sêres vivos são objetos estranhos. Os homens sempre tiveram que saber disso mais ou menos confusamente. O desenvolvimento das ciências da natureza a partir do século XVII, seu desabrochamento a partir do século XIX, longe de apagarem essa impressão de «estranheza», tornaram-na ainda mais aguda. Em relação às leis físicas regendo os sistemas macroscópicos, a própria existência dos sêres vivos parecia constituir um paradoxo, violar certos princípios fundamentais sôbre os quais repousa a ciência moderna. Quais exatamente? Isso não é imediatamente claro. Portanto, trata-se de analisar precisamente a natureza dêste ou dêstes «paradoxos». O que nos dará a oportunidade de precisar o estatuto, relativamente às leis físicas, das duas propriedades essenciais que caracterizam os sêres vivos: a invariância reprodutiva e a teleonomia.

o «paradoxo» da invariância

Com efeito, desde o princípio, a invariância parece constituir uma propriedade profundamente paradoxal, pois a manutenção, a reprodução, a multiplicação de estruturas altamente ordenadas, parecem incompatíveis com o segundo princípio da termodinâmica. Êste princípio impõe que todo sistema macroscópico só pode evoluir no sentido da degradação da ordem que o caracteriza.[2]

Contudo, essa predição do segundo princípio só é válida e verificável, se considerarmos a evolução de conjunto de um sistema *energèticamente isolado*. No interior dêste sistema, numa de suas fases, poderemos observar a formação e o crescimento de estruturas ordenadas, sem que para tanto a evolução de conjunto do sistema deixe de obedecer ao segundo princípio. A cristalização de uma solução saturada nos dá o melhor exemplo disso. A termodinâmica de tal sistema está bem compreendida. O crescimento local de ordem que a reunião de moléculas — inicialmente desordenadas numa rêde cristalina perfeitamente definida — representa é «pago» por uma transferência de energia térmica da fase cristalina para a solução. A entropia (a desordem) do sistema em seu conjunto aumenta a quantidade prescrita pelo segundo princípio.

[2] Ver Apêndices, no final do volume.

Êsse exemplo mostra que um crescimento local de ordem, no interior de um sistema isolado, é compatível com o segundo princípio. No entanto, sublinhamos que o grau de ordem que um organismo representa, mesmo o mais simples, é incomparàvelmente mais elevado do que aquêle que um cristal define. Devemos perguntar se a conservação e a multiplicação invariante de tais estruturas são igualmente compatíveis com o segundo princípio. Podemos verificar isso através de uma experiência estreitamente comparável à da cristalização.

Tomemos um mililitro de água, contendo alguns miligramas de um açúcar simples, como a glicose, e também sais minerais compreendendo os elementos essenciais que entram na composição dos constituintes químicos dos sêres vivos (azoto, fósforo, enxôfre, etc.). Semeemos neste meio uma bactéria da espécie *Escherichia Coli*, por exemplo (comprimento 2μ, pêso 5×10^{-13} g mais ou menos). No espaço de 36 horas a solução conterá vários bilhões de bactérias. Constataremos que, mais ou menos, 40% do açúcar foi convertido em constituintes celulares, ao passo que o resto foi oxidado em CO_2 e H_2O. Efetuando tôda a experiência num calorímetro, podemos determinar o balanço termodinâmico da operação e constatar que, como no caso da cristalização, a entropia do conjunto do sistema (bactérias + meio) aumentou de um pouco mais que o mínimo prescrito pelo segundo princípio. Assim, ao passo que a estrutura extremamente complexa que a célula bacteriana representa foi não apenas conservada, mas multiplicada vários bilhões de vêzes, a dívida termodinâmica que corresponde à operação foi devidamente regulada.

Portanto, não há nenhuma violação definível ou mensurável do segundo princípio. Entretanto, assistindo a êste fenômeno, nossa intuição física não pode deixar de ficar profundamente transtornada e perceber, mais ainda do que antes da experiência, tôda sua estranheza. Por quê? Porque vimos bem que êste processo foi desviado, orientado numa direção exclusiva: a multiplicação das células. Estas certamente não violam as leis da termodinâmica, muito pelo contrário. Não se contentam em lhes obedecer; elas as utilizam, assim como faria um bom engenheiro, para consumar com o máximo de eficácia o projeto, para realizar o «sonho» (F. Jacob) de tôda célula: tornar-se duas células.

a teleonomia e o princípio de objetividade

Num próximo capítulo, tentaremos dar uma idéia da complexidade, do refinamento e da eficácia da maquinaria química necessária à realização dêsse projeto, que exige a síntese de várias centenas de constituintes orgânicos diferentes, sua reunião em vários milhares de espécies macromoleculares, a mobilização e a utilização, onde fôr necessário, do potencial químico liberado pela oxidação do açúcar, a construção dos organitos celulares. Entretanto, não há nenhum paradoxo físico na reprodução invariante dessas estruturas: o preço termodinâmico de invariância é pago da forma mais justa, graças à perfeição do aparelho teleonômico que, avaro de calorias, atinge em sua tarefa infinitamente complexa um rendimento quase nunca igualado pelas máquinas humanas. Êsse aparelho é inteiramente lógico, maravilhosamente racional, perfeitamente adaptado a seu projeto: conservar e reproduzir a norma estrutural. E isso, não transgredindo, mas explorando as leis físicas em benefício exclusivo de sua indossincrasia pessoal. É a própria existência dêsse projeto, ao mesmo tempo realizado e perseguido pelo aparelho teleonômico, que constitui o «milagre». Milagre? Não, a verdadeira questão se põe num nível diferente, e mais profundo, daquele das leis físicas: trata-se de nosso entendimento, da intuição que temos do fenômeno. Na verdade, não há nem

paradoxo nem milagre, mas uma flagrante contradição epistemológica.

A pedra angular do método científico é o postulado da objetividade da Natureza. Isto é, a recusa *sistemática* em considerar como capaz de conduzir a um conhecimento «verdadeiro» tôda interpretação dos fenômenos dada em têrmos de causas finais, ou melhor, de «projeto». Podemos datar exatamente a descoberta dêsse princípio. A formulação, por Galileu e Descartes, do princípio de inércia não fundava sòmente a mecânica mas a epistemologia da ciência moderna abolindo a física e a cosmologia de Aristóteles. Certamente, nem a razão, nem a lógica, nem a experiência, nem mesmo a idéia de sua confrontação sistemática, haviam faltado aos predecessores de Descartes. Mas a ciência, tal como a entendemos hoje, não se podia constituir apenas sôbre essas bases. Era necessária ainda a austera censura colocada pelo postulado de objetividade. Postulado puro, para sempre indemonstrável, pois é evidentemente impossível imaginar uma experiência que pudesse provar a *não-existência* de um projeto, de uma finalidade perseguida onde quer que seja na natureza.

Mas o postulado de objetividade é consubstancial à ciência. Há três séculos guia todo seu prodigioso desenvolvimento. É impossível nos desfazermos dêle, ainda que provisòriamente, ou num domínio limitado, sem sairmos do domínio da própria ciência.

A objetividade, porém, nos obriga a reconhecer o caráter teleonômico dos sêres vivos, a admitir que, em suas estruturas e performances, êles realizam e perseguem um projeto. Portanto, existe aí, pelo menos aparentemente, uma profunda contradição epistemológica. O problema central da biologia é essa própria contradição, que cumpre resolver se é apenas aparente, ou provar radicalmente insolúvel se na verdade é exatamente assim.

II. VITALISMOS E ANIMISMOS

a relação de prioridade entre invariância e teleonomia: dilema fundamental

Pelo próprio fato de que as propriedades teleonômicas dos sêres vivos parecem colocar em questão um dos postulados básicos da moderna teoria do conhecimento, tôda concepção do mundo, filosófica, religiosa, científica, supõe *necessàriamente* uma solução, implícita ou não, dêsse problema. Por sua vez, tôda solução — qualquer que seja sua motivação — implica de modo igualmente inevitável uma hipótese quanto à prioridade, causal e temporal, das propriedades características dos sêres vivos (invariância e teleonomia) uma em relação à outra.

Reservemos para um capítulo ulterior a exposição e as justificações da hipótese considerada como a única aceitável aos olhos da ciência moderna: a invariância precede necessàriamente a teleonomia. Ou, para ser mais explícito, a idéia darwiniana de que a aparição, a evolução, o refinamento progressivo de estruturas cada vez mais intensamente teleonômicas, são devidos a perturbações que ocorrem numa estrutura *já possuindo a propriedade de invariância,* capaz portanto de «conservar o acaso» e, por aí, de submeter seus efeitos ao jôgo da seleção natural.

Fique bem claro que a teoria aqui esboçada por mim, breve e dogmàticamente, não é a do próprio Darwin que, em seu tempo, não podia ter nenhuma idéia dos mecanismos químicos da invariância reprodutiva, nem da natureza das perturbações que êsses mecanismos sofrem. Mas não significa roubar alguma coisa ao gênio de Darwin constatar que a teoria seletiva da evolução só pôde adquirir todo seu sentido, tôda sua precisão, tôda sua certeza, há menos de vinte anos.

Até agora a teoria seletiva é a única a ter sido proposta que — fazendo da teleonomia uma propriedade secundária, derivada da invariância considerada como única primitiva — seja compatível com o postulado de objetividade. É a única também a ser não só compatível com a física moderna mas fundada nela, sem restrições nem acréscimos. É a teoria da evolução seletiva que em definitivo garante a coerência epistemológica da biologia e lhe dá seu lugar entre as ciências da «Natureza objetiva». Certamente trata-se de um poderoso argumento a favor da teoria, mas que não basta para justificá-la.

Tôdas as outras concepções que foram explìcitamente propostas para revelar a estranheza dos sêres vivos, ou que são implìcitamente envolvidas tanto pelas ideologias religiosas como pela maioria dos grandes sistemas filosóficos, supõem a hipótese contrária: *a invariância é protegida, a ontogenia guiada, a evolução orientada* por um princípio teleonômico inicial, de que todos êsses fenômenos seriam manifestações. No resto dêste capítulo, analisarei sistemàticamente a lógica de tais interpretações, aparentemente muito diferentes, mas que implicam, tôdas, o abandono parcial ou total, confessado ou não, consciente ou não, do postulado de objetividade. Para tanto será cômodo adotar uma classificação (um pouco arbitrária, é verdade) dessas concepções, segundo a natureza e a

extensão suposta do princípio teleonômico a que elas apelam.

Assim, de um lado, podemos definir um primeiro grupo de teorias que admitem um princípio teleonômico expressamente suposto só operar no interior da biosfera, da «matéria viva». Essas teorias, que chamarei *vitalistas,* implicam, portanto, uma distinção radical entre os sêres vivos e o universo inanimado.

De outro lado, podemos agrupar as concepções que apelam para um princípio teleonômico *universal,* responsável tanto pela evolução cósmica quanto pela da biosfera, em cujo interior êle se exprimiria sòmente de modo mais preciso e intenso. Essas teorias vêem nos sêres vivos os mais elaborados, os mais perfeitos produtos de uma evolução universalmente orientada que culminou — porque *nisso devia culminar* — no homem e na humanidade. Essas concepções, que chamarei *animistas,* sob muitos aspectos são mais interessantes que as teorias vitalistas, às quais consagrarei apenas uma breve exposição.[1]

◈

Entre as teorias vitalistas podemos discernir tendências muito diversas. Aqui nos contentaremos em distinguir entre o que chamarei o «vitalismo metafísico» e o «vitalismo cientista».

o vitalismo metafísico

O mais ilustre promotor de um vitalismo metafísico foi Bergson. Sabemos que, graças a um estilo sedutor, a uma dialética metafórica desprovida de lógica mas não de poesia, essa filosofia conheceu um imenso sucesso. Atualmente parece caída em descrédito quase total, ao passo que em minha juventude ninguém podia esperar conseguir o grau de bacharel

[1] Talvez deva destacar que emprego aqui os qualificativos "animista" e "vitalista" numa acepção particular, um pouco diferente do uso comum.

sem ter lido *A Evolução Criadora*. Portanto, devemos lembrar que essa filosofia repousa inteiramente sôbre uma certa idéia da vida concebida como um «elã», uma «corrente», radicalmente diferente da matéria inanimada, mas com ela lutando, «atravessando-a» para obrigá-la a organizar-se. Contràriamente a quase todos os outros vitalismos ou animismos, o de Bergson não é finalista. Recusa-se a encerrar a espontaneidade essencial da vida numa determinação qualquer. Portanto, a evolução, que se identifica ao próprio elã vital, não pode ter nem causas finais, nem causas eficientes. O homem é o estádio supremo a que a evolução chegou, mas sem tê-lo procurado ou previsto. É muito mais a manifestação e a prova da total liberdade do elã criador.

A essa concepção associa-se uma outra, considerada por Bergson como fundamental: a inteligência racional é um instrumento de conhecimento especialmente adaptado ao domínio da matéria inerte, mas totalmente incapaz de apreender os fenômenos da vida. Apenas o instinto, consubstancial ao elã vital, pode oferecer uma intuição direta e global dêles. Portanto, todo discurso analítico e racional sôbre a vida é desprovido de sentido ou, antes, está fora do assunto. O alto desenvolvimento da inteligência racional, no *Homo sapiens*, acarretou um grave e lamentável empobrecimento de seus podêres de intuição, cujas riquezas hoje devemos tentar recuperar.

Não vou discutir (aliás, ela não se presta à discussão) essa filosofia. Encerrado na lógica e pobre em intuições globais, sinto-me incapaz para tanto. Nem por isso considero a atitude de Bergson insignificante, muito ao contrário. A revolta, consciente ou não, contra o racional, o respeito concedido ao *Id* às custas do *Ego*, são características de nosso tempo (sem falar na espontaneidade criadora). Se tivesse

empregado uma língua menos clara, um estilo mais «profundo», Bergson hoje seria relido.[2]

◈

vitalismo cientista

Os vitalistas «científicos» foram muito numerosos e entre êles contam-se sábios eminentes. Mas, ao passo que há uns cinqüenta anos os vitalistas se recrutavam entre os biologistas (dos quais o mais conhecido, Driesch, abandonou a embriologia pela filosofia), os contemporâneos procedem principalmente das ciências físicas, como Elsässer e Polanyi. Certamente podemos compreender que físicos tenham sido surpreendidos, mais ainda que biologistas, pela estranheza dos sêres vivos. Esquemàticamente resumida, a atitude de Elsässer é a seguinte:

Sem dúvida as propriedades estranhas, invariância e teleonomia, não violam a física, *mas não são inteiramente explicáveis* com a ajuda das fôrças físicas e interações químicas reveladas pelo estudo dos sistemas não-vivos. Por conseguinte, é indispensável admitir que princípios, que viriam *ajuntar-se* aos da física, operam na matéria viva, mas não nos sistemas não-vivos, onde em conseqüência êsses princípios eletivamente vitais não podiam ser descobertos. São êsses princípios (ou leis biotônicas, para empregar a terminologia de Elsässer) que se trata de elucidar.

Parece que até mesmo o grande Nils Bohr não afastava tais hipóteses. Mas não pretendia provar que fôssem necessárias. Será que elas o são? Tudo

[2] O pensamento de Bergson não deixa de apresentar obscuridades, nem contradições aparentes. Parece que podemos contestar, por exemplo, que o dualismo bergsoniano seja essencial: talvez devamo-lo considerar como derivado de um monismo mais primitivo? (C. Blanchard, comunicação pessoal). É evidente que não pretendo analisar aqui o pensamento de Bergson em suas ramificações, mas sòmente em suas implicações mais diretas em relação à teoria dos sistemas vivos.

está aí, em definitivo. É o que afirmam notadamente Elsässer e Polanyi. O mínimo que podemos dizer é que a argumentação dêsses físicos carece singularmente de rigor e de firmeza.

Êsses argumentos concernem respectivamente cada uma das propriedades estranhas. No que diz respeito à invariância, seu mecanismo é hoje bem conhecido para que possamos afirmar que nenhum princípio não-físico é necessário à sua interpretação (cf. c. VI).

Resta a teleonomia, ou mais exatamente, os mecanismos morfogenéticos que constroem as estruturas teleonômicas. É perfeitamente verdade que o desenvolvimento embrionário é um dos mais miraculosos fenômenos de aparência de tôda a biologia. É verdade também que êsses fenômenos, admiràvelmente descritos pelos embriologistas, em grande parte escapam ainda (por razões técnicas) à análise técnica e bioquímica — a única evidentemente que nos permitiria perceber isso. A atitude dos vitalistas que considera que as leis físicas são ou se revelarão, em todo caso, insuficientes para explicar a embriogênese não se justifica por conhecimentos precisos, por observações acabadas, mas sòmente por nossa atual ignorância.

Em contrapartida, nossos conhecimentos relativos aos mecanismos cibernéticos moleculares que regulam a atividade e o crescimento celulares fizeram progressos consideráveis e sem dúvida contribuirão, num futuro próximo, para a interpretação do desenvolvimento. Reservamos para o capítulo IV a discussão dêsses mecanismos, o que nos dará a ocasião de voltar a certos argumentos dos vitalistas. Para sobreviver, o vitalismo tem necessidade de que subsistam em biologia, senão verdadeiros paradoxos, pelo menos «mistérios». Os desenvolvimentos nesses últimos vinte anos da biologia molecular estreitaram singularmente o domínio dos mistérios, quase só deixando em aberto, para as especulações vitalistas, o

campo da subjetividade: o da própria consciência. Não corremos um grande risco prevendo que, nesse domínio por ora ainda «reservado», essas especulações se revelarão tão estéreis quanto em todos aquêles onde se exerceram até agora.

◈

Remontando à infância da humanidade, anteriores talvez à aparição do *Homo sapiens*, as concepções animistas ainda têm profundas e vivazes raízes na alma do homem moderno.

a «projeção animista» e a «antiga aliança»

Sem dúvida nossos ancestrais só confusamente podiam perceber a estranheza de sua condição. Não tinham as razões que hoje nós temos para nos sentirmos estranhos ao universo sôbre o qual abriam os olhos. O que viam nêle primeiramente? Animais, plantas, sêres cuja natureza, semelhante à sua, podiam adivinhar de imediato. As plantas crescem, procuram o sol, morrem; os animais caçam sua prêsa, atacam seus inimigos, alimentam e defendem sua prole; os machos se batem pela posse de uma fêmea. Plantas, animais, como o próprio homem se explicavam fàcilmente: êstes sêres têm um projeto que é o de viver e de sobreviver em sua descendência, ainda que ao preço de sua morte. O projeto explica o ser e o ser só tem sentido por seu projeto.

Mas, em tôrno de si, nossos ancestrais também viam outros objetos, bem mais misteriosos: rochedos, rios, montanhas, a tempestade, a chuva, os corpos celestes. Tais objetos, se existiam, era preciso que fôsse também por um projeto, e que tivessem uma alma para alimentá-lo. Assim se resolvia para aquêles homens a estranheza do universo: na realidade, não existem objetos inanimados, o que seria incompreensível. No interior do rio, no pico da montanha,

almas mais secretas alimentam projetos mais vastos e mais impenetráveis do que aquêles, transparentes, dos homens ou dos animais. Destarte, nossos ancestrais sabiam ver nas formas e nos acontecimentos da natureza a ação de fôrças benévolas ou hostis, mas nunca indiferentes, nunca totalmente estranhas.

O esfôrço essencial do animismo (tal como pretendo defini-lo aqui) consiste numa projeção na natureza inanimada da consciência que o homem tem do funcionamento intensamente teleonômico de seu próprio sistema nervoso central. Em outros têrmos, é a hipótese de que os fenômenos naturais podem e devem explicar-se em definitivo da mesma maneira, pelas mesmas «leis» que a atividade humana subjetiva, consciente e projetiva. O animismo primitivo formulava essa hipótese com tôda ingenuidade, franqueza e precisão, povoando assim a natureza de mitos graciosos ou temíveis que, durante séculos, alimentaram a arte e a poesia.

Não teríamos razão em sorrir, mesmo com a ternura e o respeito que a infância inspira. Cremos que a cultura moderna tenha verdadeiramente renunciado à interpretação subjetiva da natureza? O animismo estabelecia entre a Natureza e o Homem uma profunda aliança, fora da qual só uma solidão apavorante parece estender-se. É preciso romper êsse vínculo, porque o postulado de objetividade assim impõe? A história das idéias desde o século XVII testemunha esforços prodigalizados pelos espíritos mais eminentes para evitar a ruptura, para novamente forjar o anel «antiga aliança». Que se pense em tão grandiosas tentativas quanto a de Leibnitz, ou no enorme e pesado monumento erguido por Hegel. Mas o idealismo está longe de ter sido o único refúgio de um animismo cósmico. No cerne mesmo de certas ideologias que se dizem e se querem fundadas

na ciência, encontramos, sob uma forma mais ou menos velada, a projeção animista.

o progressismo cientista

A filosofia biológica de Teilhard de Chardin não mereceria que nos detêssemos nela, não fôsse o surpreendente sucesso que encontrou até nos meios científicos. Sucesso que testemunha a angústia, a necessidade de reatar a aliança. Com efeito, Teilhard a reata sem desvios. Sua filosofia, como a de Bergson, está inteiramente fundada num postulado evolucionista inicial. Contràriamente a Bergson, porém, admite que a fôrça evolutiva opera no universo inteiro, das partículas elementares às galáxias: não há matéria «inerte» e, portanto, nenhuma distinção de essência entre matéria e vida. O desejo de apresentar essa concepção como «científica» conduz Teilhard a fundá-la numa definição nova da energia. Esta de algum modo se distribuiria segundo dois vetores, dos quais um seria (suponho) a energia «comum», ao passo que o outro corresponderia à fôrça de ascendência evolutiva. A biosfera e o homem são os produtos atuais dessa ascendência ao longo do vetor espiritual da energia. Essa evolução deve continuar até que tôda energia esteja concentrada segundo êsse vetor: é o ponto ω.

Ainda que a lógica de Teilhard seja incerta e seu estilo laborioso, alguns, mesmo não aceitando inteiramente sua ideologia, nela reconhecem uma certa grandeza poética. De minha parte, fico chocado com a carência de rigor e de austeridade intelectual dessa filosofia. Nela vejo sobretudo uma sistemática complacência em querer conciliar, transigir a todo preço. Talvez, no final das contas, Teilhard não tivesse culpa de ser membro daquela ordem cujo laxismo teológico Pascal, três séculos antes, atacava.

A idéia de reencontrar a antiga aliança animista com a natureza, ou de fundar uma nova graças a uma

teoria universal, segundo a qual a evolução da biosfera até o homem seria contínua, sem ruptura da própria evolução cósmica, não foi descoberta por Teilhard. De fato, é a idéia central do progressismo cientista do século XIX. Encontramo-la no cerne do positivismo de Spencer, como no do materialismo dialético de Marx e Engels. A fôrça desconhecida e *incognoscível* que, segundo Spencer, opera em todo o universo para nêle criar variedade, coerência, especialização e ordem, desempenha exatamente o mesmo papel, em definitivo, que a energia «ascendente» de Teilhard: a história humana prolonga a evolução biológica que, por sua vez, faz parte da evolução cósmica. Graças a êsse princípio único o homem, enfim, encontra no universo seu lugar eminente e necessário, com a certeza do progresso a que sempre estêve destinado. A fôrça diferenciante de Spencer (como a energia ascendente de Teilhard) representa evidentemente a projeção animista. Para dar um sentido à natureza, para que o homem dela não fôsse separado por um abismo insondável, para torná-la enfim decifrável e inteligível, *era preciso proporcionar-lhe um projeto*. Na falta de uma alma que nutrisse tal projeto, inseriu-se então na natureza uma «fôrça» evolutiva, ascendente, o que de fato vem a dar no abandono do postulado de objetividade.

◈

a projeção animista no materialismo dialético

Entre as ideologias cientistas do século XIX, a mais poderosa, a que em nossos dias ainda exerce uma profunda influência para além do círculo, contudo vasto, de seus adeptos, é evidentemente o Marxismo. Por isso é particularmente revelador constatar que, desejando fundar nas leis da própria natureza o edifício de suas doutrinas sociais, Marx e Engels também recorreram — muito mais clara e deliberadamente que Spencer — à «projeção animista».

Com efeito, parece-me impossível interpretar de outro modo a famosa «inversão» através da qual Marx substitui a dialética idealista de Hegel pelo materialismo dialético.

O postulado de Hegel — as leis mais gerais que governam o universo em sua evolução são de ordem dialética — está em seu lugar no interior de um sistema que só reconhece realidade permanente e autêntica ao espírito. Se todos os acontecimentos, todos os fenômenos, são apenas manifestações parciais de uma idéia que se pensa a si mesma, é legítimo procurar na experiência subjetiva do movimento do pensamento a mais imediata expressão das leis universais. E se o pensamento procede dialèticamente é que, portanto, as «leis da dialética» governam a natureza tôda. Mas conservar essas «leis» subjetivas tais quais são, para torná-las as de um universo puramente material, é efetuar a projeção animista em tôda sua clareza, com tôdas as suas conseqüências, a começar pelo abandono do postulado de objetividade.

Nem Marx, nem Engels analisaram em detalhe, para tentar justificá-la, a lógica dessa inversão da dialética. Mas, conforme os numerosos exemplos de aplicação que notadamente Engels dela dá (no *Anti-Dürhing* e na *Dialética da Natureza*), podemos tentar reconstruir o pensamento profundo dos fundadores do materialismo dialético. Suas articulações essenciais seriam as seguintes:

1. O modo de existência da matéria é o movimento.

2. O universo, definido como a totalidade da matéria, única existente, se encontra em estado de perpétua evolução.

3. Todo conhecimento verdadeiro do universo é o que contribui para a compreensão dessa evolução.

4. Mas êsse conhecimento só é obtido na interação, ela mesma evolutiva e causa de evolução, entre o homem e a matéria (ou mais exatamente o «resto»

da matéria). Portanto, todo conhecimento verdadeiro é «prático».

5. A consciência se relaciona com essa interação cognitiva. O pensamento consciente reflete, por conseguinte, o movimento do próprio universo.

6. Já que o pensamento é parte e reflexo do movimento universal, já que seu movimento é dialético, é preciso que a lei de evolução do próprio universo seja dialética. O que explica e justifica o emprêgo de têrmos tais como contradição, afirmação, negação, a propósito de fenômenos naturais.

7. A dialética é construtiva (graças notadamente à terceira «lei»). Portanto, a própria evolução do universo é ascendente e construtiva. Sua expressão mais alta é a sociedade humana, a consciência, o pensamento, produtos necessários dessa evolução.

8. Pela ênfase colocada na essência evolutiva das estruturas do universo, o materialismo dialético ultrapassa radicalmente o materialismo do século XVIII que, fundado na lógica clássica, só era capaz de reconhecer interações mecânicas entre objetos supostamente invariantes, e permanecia, portanto, incapaz de pensar a evolução.

Sem dúvida pode-se contestar essa reconstituição, negar que corresponda ao pensamento autêntico de Marx e Engels. Mas isso em suma é secundário. A influência de uma ideologia se deve à significação que dela permanece no espírito de seus adeptos e que dela fornecem seus epígonos. Vários textos provam que a reconstituição proposta é legítima, pelo menos como representante da «vulgata» do materialismo dialético. Citarei apenas um texto muito significativo, porque seu autor era um ilustre biologista moderno, J. B. S. Haldane. Em seu prefácio à tradução inglêsa da *Dialética da Natureza,* êle escreve:

«O Marxismo considera a ciência sob dois aspectos. Em primeiro lugar, os marxistas estudam a ciência entre as outras atividades humanas. Mostram como a atividade científica de uma sociedade depende da evolução de suas necessidades, portanto de seus métodos de produção que por sua vez a ciência modifica, como também a evolução de suas necessidades. Mas, em segundo lugar, Marx e Engels não se limitavam a analisar as modificações das sociedades. Na Dialética, descobrem as leis gerais das mudanças, não só na sociedade e no pensamento humano, mas também no mundo exterior, *refletido pelo pensamento humano*. O que significa dizer que a dialética pode ser aplicada a problemas de ciência «pura» tanto quanto às relações sociais da ciência».

O mundo exterior «refletido pelo pensamento humano»: com efeito está tudo aí. A lógica da inversão evidentemente exige que êsse reflexo seja muito mais que uma transposição mais ou menos fiel do mundo exterior. Para o materialismo dialético é indispensável que o «Ding an sich», a coisa ou o fenômeno em si, chegue até o nível da consciência sem alteração nem empobrecimento, sem que nenhuma seleção tenha sido operada entre suas propriedades. É preciso que o mundo exterior esteja literalmente presente à consciência na integridade total de suas estruturas e de seu movimento.[3]

[3] Citemos também o seguinte texto, de Henri Lefebvre (*Le Matérialisme dialectique*, PUF, Paris, 1949, p. 92): "A dialética, longe de ser um movimento interior do espírito, é real antes do espírito, no ser. Ela se impõe ao espírito. Analisamos primeiro o movimento mais simples e mais abstrato, o do pensamento mais despojado. Descobrimos assim as categorias mais gerais e seu encadeamento. Em seguida, devemos vincular êste movimento ao movimento concreto, ao *conteúdo dado;* então, tomamos consciência do fato de que o movimento do conteúdo e do ser se elucida para nós em leis dialéticas. As contradições no pensamento não vêm apenas do pensamento, de sua importância ou de sua incoerência definitivas; vêm também do conteúdo. Seu encadeamento tende para a expressão do *movimento total do conteúdo* e o eleva ao nível da consciência e da reflexão".

Sem dúvida, a essa concepção poderíamos opor alguns textos do próprio Marx. Contudo, ela permanece indispensável à coerência lógica do materialismo dialético, conforme seus epígonos, ou mesmo Marx e Engels viram muito bem. Aliás, não esqueçamos que o materialismo dialético é um acréscimo relativamente tardio ao edifício sócio-econômico já erigido por Marx. Acréscimo claramente destinado a fazer do materialismo histórico uma «ciência» fundada nas leis da própria natureza.

necessidade de uma epistemologia crítica

A exigência radical do «espelho perfeito» explica a obstinação dos dialéticos-materialistas em repudiar tôda e qualquer espécie de epistemologia crítica que, doravante, será imediatamente qualificada de «idealista» e de «kantiana». Em certa medida podemos compreender essa atitude da parte de homens do século XIX, contemporâneos da primeira grande explosão científica. Naquela época, bem poderia parecer que, graças à ciência, o homem estivesse apoderando-se da natureza, apropriando-se de sua substância mesma. Por exemplo, ninguém duvidava de que a gravitação fôsse uma lei da própria natureza, apreendida em sua intimidade profunda.

Como sabemos, foi por um retôrno às fontes, às próprias fontes do conhecimento, que a segunda época da ciência, a do século XX, devia ser preparada. Desde o fim do século XIX, a necessidade absoluta de uma epistemologia crítica de nôvo se torna evidente, como condição mesma da objetividade do conhecimento. Doravante não são mais apenas os filósofos que se entregam a essa crítica, mas os homens de ciência são levados a incorporá-la na própria trama teórica. Foi sob essa condição que puderam desenvolver-se a teoria da relatividade e a mecânica quântica.

Por outro lado, os progressos da neurofisiologia e da psicologia experimental começam a nos revelar pelo

menos alguns dos aspectos do funcionamento do sistema nervoso. O bastante para que seja evidente que o sistema nervoso central só pode, e sem dúvida só deve, entregar à consciência uma informação codificada, transposta, enquadrada em normas preestabelecidas: em suma, assimilada e não simplesmente restituída.

fracasso epistemológico do materialismo dialético

Por conseguinte, a tese do reflexo puro, do espelho perfeito que nem mesmo inverteria a imagem, nos parece hoje mais insustentável do que nunca. Em verdade, porém, não era preciso esperar os progressos da ciência do século XX para que aparecessem as confusões e o não-sentido a que essa tese não podia deixar de conduzir. Para iluminar a lanterna do pobre Dühring que já os denunciava, o próprio Engels propôs numerosos exemplos de interpretação dialética dos fenômenos naturais. Lembremo-nos do célebre exemplo do grão de cevada, dado como ilustração da terceira lei:

«Se um grão de cevada encontra as condições que lhe são normais, uma transformação específica se opera nêle sob a influência do calor e da umidade, e êle germina: o grão desaparece enquanto tal, é negado, substituído pela planta nascida dêle, negação do grão. Mas qual é a carreira normal dessa planta? Ela cresce, floresce, fecunda-se e produz novos grãos de cevada, e tão logo estejam maduros, a haste murcha, é negada por sua vez. Como resultado dessa negação da negação, temos novamente o grão de cevada do início, não simples, mas dez, vinte, trinta vêzes maior...»

«Assim também, acrescenta Engels mais adiante, na matemática: tomemos uma grandeza algébrica qualquer, por exemplo, a. Neguemo-la, teremos -a. Neguemos esta negação multiplicando -a por -a, teremos

a², isto é, a grandeza positiva primitiva, mas num grau superior...», etc.

Êsses exemplos ilustram sobretudo a amplitude do desastre epistemológico que resulta do uso «científico» das interpretações dialéticas. Os dialéticos materialistas modernos evitam geralmente cair em semelhantes infantilidades. Mas fazer da contradição dialética a «lei fundamental» de todo movimento, de tôda evolução, é tentar sistematizar uma interpretação subjetiva da natureza que permita não só descobrir nela um projeto ascendente, construtivo, criador, como também torná-la enfim decifrável e moralmente significante. Trata-se da «projeção animista» sempre reconhecível, quaisquer que sejam seus desvios.

Interpretação não sòmente estranha à ciência, mas incompatível com ela, como se evidenciou tôda vez que os dialéticos materialistas, saindo do puro verbalismo «teórico», quiseram iluminar os caminhos da ciência experimental com a ajuda de suas concepções. O próprio Engels (que, no entanto, tinha um conhecimento profundo da ciência de seu tempo) foi levado a rejeitar, em nome da Dialética, duas das maiores descobertas de seu tempo: o segundo princípio da termodinâmica e (apesar de sua admiração por Darwin) a interpretação puramente seletiva da evolução. Era em virtude dos mesmos princípios que Lenin atacava, e com que violência, a epistemologia de Mach; que Jdanov mais tarde ordenava aos filósofos russos que atacassem «as diabruras kantianas da escola de Copenhague»; que Lyssenko acusava os genéticos de sustentarem uma teoria radicalmente incompatível com o materialismo dialético, portanto necessàriamente falsa. Apesar das negações dos genéticos russos, Lyssenko tinha perfeitamente razão. A teoria do gene como determinante hereditário invariante através das gerações, e mesmo das hibridações, é com efeito absolutamente inconciliável com os princípios dialéticos.

É por definição uma teoria idealista, pois repousa sôbre um postulado de invariância. O fato de que hoje conhecemos a estrutura do gene e o mecanismo de sua reprodução invariante não contribui em nada, pois a descrição que dela nos fornece a biologia moderna é puramente mecanística. Portanto, trata-se ainda, na melhor das hipóteses, de uma concepção decorrente do «materialismo vulgar», mecanicista e, por conseguinte, «objetivamente idealista», como observou Althusser em seu severo comentário de minha aula inaugural no Colégio de França.

◈

Passei em revista brevemente, e de forma bastante incompleta, essas diversas ideologias ou teorias. Pode-se pensar que forneço delas uma imagem deformada, porque parcial. Tentarei justificar-me sublinhando que aqui só procurei depreender o que essas concepções admitem, ou implicam, no que concerne à biologia, e mais especialmente a relação que elas supõem entre invariância e teleonomia. Vimos que tôdas, sem exceção, fazem de um princípio teleonômico inicial o motor da evolução, seja apenas da biosfera, seja do universo todo. Aos olhos da moderna teoria científica, tôdas essas concepções estão erradas, e isso não só por razões de método (porque implicam de uma maneira ou de outra o abandono do postulado de objetividade), mas também por razões de fato, que serão discutidas notadamente no capítulo VI.

a ilusão antropocentrista

Na raiz dêsses erros certamente está a ilusão antropocentrista. A teoria heliocêntrica, a noção de inércia, o princípio de objetividade, não podiam bastar para dissipar essa antiga miragem. A teoria da evolução, longe de fazer desaparecer a ilusão, parecia conferir-lhe uma nova realidade tornando o homem

não mais o centro, mas o herdeiro desde sempre esperado, natural, do universo todo. Deus enfim podia morrer, substituído por essa nova e grandiosa miragem. Doravante, o esfôrço último da Ciência será o de formular uma teoria unificada que, fundada num pequeno número de princípios, dará conta da realidade tôda, inclusive da biosfera e do homem. Era nessa certeza exaltante que se alimentava o progressismo cientista do século XIX. Teoria unificada que os dialéticos materialistas criam de fato já ter formulado.

Foi porque lhe parecia atentar contra a certeza de que o homem e o pensamento humano são os produtos necessários de uma ascendência cósmica, que Engels foi levado a negar formalmente o segundo princípio da termodinâmica. É significativo que êle o tenha feito desde a introdução à *Dialética da Natureza* e que tenha associado diretamente êsse tema a uma pregação cosmológica apaixonada, pela qual prometia, senão à espécie humana, pelo menos ao «cérebro pensante» um eterno retôrno. Retôrno, com efeito, a um dos mais antigos mitos da humanidade.[4]

a biosfera: acontecimento singular não deduzível dos primeiros princípios

Foi preciso esperar a segunda metade do século XX para que a nova miragem antropocentrista fundada na teoria da evolução também se esvanecesse. Creio que hoje podemos afirmar que uma teoria universal, por mais completos que fôssem seus sucessos,

[4] "Chegamos, portanto, à conclusão de que — de um modo que caberá aos sábios do futuro esclarecer — o calor irradiado no espaço necessàriamente deve ter a possibilidade de se converter numa outra forma de movimento, sob a qual êle se pode concentrar ainda uma vez e de nôvo se tornar ativo. Assim, cai a dificuldade essencial que se opunha à reconversão de sóis mortos em nebulosa incandescente (...).
"Mas, qualquer que seja a freqüência e qualquer que seja o inexorável rigor com os quais êste ciclo se realiza no tempo e no espaço; qualquer que seja o número dos milhões de sóis e de terras que nascem e perecem; por mais tempo que seja necessário para que, num sistema solar, as condições da

jamais poderia conter a biosfera, sua estrutura, sua evolução, enquanto fenômenos *deduzíveis* dos primeiros princípios. Essa proposição pode parecer obscura. Procuraremos aclará-la. Uma teoria universal evidentemente deveria envolver ao mesmo tempo a relatividade, a teoria dos quanta, uma teoria das partículas elementares. Contanto que certas condições iniciais pudessem ser formuladas, ela conteria igualmente uma cosmologia que preveria a evolução geral do Universo. No entanto, sabemos que (contràriamente ao que Laplace cria e, depois dêle, a ciência e a filosofia «materialista» do século XIX) essas previsões só poderiam ser estatísticas. Sem dúvida, a teoria conteria a classificação periódica dos elementos, mas só poderia determinar a probabilidade de existência de cada um dentre êles. Do mesmo modo ela preveria a aparição de objetos tais como galáxias ou sistemas planetários, mas em caso algum poderia deduzir de seus princípios a existência necessária de tal objeto, de tal acontecimento, de tal fenômeno particular, quer se trate da nebulosa de Andrômeda, do planêta Vênus, do monte Everest ou da tempestade de ontem à tarde. De uma maneira geral, a teoria preveria a existência, as propriedades, as relações de certas *classes* de objetos ou de acontecimentos, mas evidentemente não poderia prever a existência, nem os caracteres distin-

vida orgânica se estabeleça, ainda que sôbre um só planêta; por mais inumeráveis, os sêres orgânicos que primeiro devem aparecer e perecer antes que, de seu seio, saiam animais com um cérebro capaz de pensar, e antes que êles encontrem por um curto lapso de tempo condições próprias à sua vida, para em seguida também serem exterminados sem mercê — temos a certeza de que, em tôdas as suas transformações, a matéria permanece eternamente a mesma, que nenhum de seus atributos jamais se pode perder, e que, em conseqüência, se um dia, sôbre a terra, ela deve exterminar, com uma necessidade inelutável, sua floração suprema, o espírito pensante, é preciso com a mesma necessidade que, alhures e numa outra hora, ela o reproduza". (Engels, *Dialectique de la nature*, tradução Bottigelli, *Editions Sociales*, Paris, 1952, pp. 45-46).

tivos de nenhum objeto, de nenhum acontecimento *particular*.

A tese que apresentarei aqui é a de que a biosfera não contém uma classe previsível de objetos ou de fenômenos, mas constitui um acontecimento particular, de certo compatível com os primeiros princípios, mas *não deduzível* dêsses princípios. Portanto essencialmente imprevisível.

Que me compreendam bem. Dizendo que os sêres vivos, enquanto classe, são não previsíveis a partir dos primeiros princípios, de modo algum pretendo sugerir que não sejam *explicáveis* segundo êsses princípios, que os transcendam de certo modo, e que outros princípios, aplicáveis sòmente a êles, devam ser invocados. A meu ver a biosfera é imprevisível ao mesmo título, nem mais nem menos, que a configuração particular de átomos que constituem êsse pedregulho que tenho em minha mão. Ninguém censuraria uma teoria universal por não afirmar nem prever a existência dessa configuração particular de átomos. Basta-nos que êsse objeto atual, único e real, seja *compatível* com a teoria. Segundo ela êsse objeto não tem o dever de existir, mas o direito.

Tratando-se do pedregulho, isso nos basta. Mas não, se tratamos de nós mesmos. Queremo-nos necessários, inevitáveis, ordenados desde sempre. Tôdas as religiões, quase tôdas as filosofias, inclusive uma parte da ciência, testemunham o incansável e heróico esfôrço da humanidade em negar desesperadamente sua própria contingência.

III. OS DEMÔNIOS DE MAXWELL

as proteínas como agentes moleculares da teleonomia estrutural e funcional

A noção de teleonomia implica a idéia de uma atividade *orientada, coerente e construtiva*. Segundo êsses critérios, as proteínas devem ser consideradas como os agentes moleculares essenciais das performances teleonômicas dos sêres vivos.

1. Os sêres vivos são máquinas químicas. O crescimento e a multiplicação de todos os organismos exigem que sejam realizadas milhares de reações químicas, graças a que são elaborados os constituintes essenciais das células. É isso que chamamos o «metabolismo». O metabolismo é organizado num grande número de «vias», divergentes, convergentes ou cíclicas, cada uma compreendendo uma seqüência de reações. A orientação precisa e o rendimento elevado dessa enorme e microscópica atividade química são garantidos por uma certa classe de proteínas, as enzimas, desempenhando o papel de catalisadores específicos.

2. Tal uma máquina, todo organismo, inclusive o mais «simples», constitui uma unidade funcional coerente e integrada. Evidentemente, a coerência funcional de uma máquina química tão complexa, e além do mais autônoma, exige a intervenção de um siste-

ma cibernético governando e controlando a atividade química em numerosos pontos. Ainda estamos longe, sobretudo em relação aos organismos superiores, de ter elucidado a estrutura completa dêsses sistemas. No entanto, hoje, conhecemos vários elementos seus, e em todos êsses casos manifesta-se que seus agentes essenciais são proteínas ditas «reguladoras» que em suma desempenham o papel de detetores de sinais químicos.

3. O organismo é uma máquina que se constrói a si mesma. Sua estrutura macroscópica não lhe é imposta pela intervenção de fôrças exteriores. Ela se constitui de modo autônomo, graças a interações construtivas internas. Embora nossos conhecimentos concernentes à mecânica do desenvolvimento sejam mais do que insuficientes, podemos desde agora afirmar que as interações construtivas são microscópicas, moleculares, e que as moléculas em questão são essencialmente, senão ùnicamente, proteínas.

Trata-se, portanto, de proteínas que canalizam a atividade da máquina química, asseguram a coerência de seu funcionamento e a constroem. Tôdas essas performances teleonômicas das proteínas, em última análise, repousam sôbre suas propriedades ditas «estereoespecíficas», isto é, sua capacidade de «reconhecer» outras moléculas (inclusive outras proteínas) segundo sua *forma*, a qual é determinada por sua estrutura molecular. Trata-se literalmente de uma propriedade discriminativa (senão «cognitiva») microscópica. Podemos admitir que tôda performance ou estrutura teleonômica de um ser vivo, qualquer que ela seja, em princípio pode ser analisada em têrmos de interações estereoespecíficas de uma, de várias, ou de numerosíssimas proteínas.[1]

[1] Existe aí uma simplificação deliberada. Certas estruturas do ADN desempenham um papel que devemos considerar como teleonômico. Além disso, certos ARN (ácidos ribonucleicos) constituem peças essenciais da maquinaria que traduz o código

É da estrutura, da forma de uma determinada proteína que depende a discriminação estereoespecífica particular que constitui sua função. Na medida em que fôssemos capazes de descrever a origem e a evolução dessa estrutura também daríamos a conhecer a origem e a evolução da performance teleonômica a que ela está destinada.

Neste capítulo discutiremos a função catalítica específica das proteínas; no seguinte, a função reguladora; e no capítulo V a função construtora. O problema das estruturas funcionais será abordado agora e retomado no capítulo seguinte.

Com efeito, podemos estudar as propriedades funcionais de uma proteína sem têrmos que nos referir ao detalhe de sua estrutura particular. (De fato, atualmente, só conhecemos em todos os seus detalhes a estrutura no espaço de uma quinzena de proteínas). Contudo, é necessário lembrarmos alguns dados gerais.

As proteínas são moléculas muito volumosas, de pêso molecular variando de 10.000 a 1.000.000 ou mais. Essas macromoléculas são constituídas pela polimerização seqüencial de compostos de pêso molecular por volta de 100, pertencendo à classe dos «ácidos aminados». Portanto, tôda proteína contém de 100 a 10.000 radicais de ácidos aminados. Êsses numerosíssimos radicais, porém, pertencem a sòmente 20 espécies químicas diferentes[2] que se encontram em todos os sêres vivos, das bactérias ao homem. Essa monotonia de composição constitui uma das mais surpreendentes ilustrações do fato de que a prodigiosa diversidade das estruturas *macroscópicas* dos sêres vivos

genético (cf. Apêndices no final). Contudo, proteínas específicas estão igualmente implicadas nesses mecanismos que, em quase todos os estádios, põem em funcionamento interações entre proteínas e ácidos nucleicos. A omissão de tôda discussão dêsses mecanismos não afeta a análise das interações teleonômicas moleculares e sua interpretação geral.

[2] Ver Apêndices no final.

repousa realmente sôbre uma profunda e não menos notável unidade de composição e de estrutura *microscópica*. Voltaremos a isso.

Segundo sua forma geral, podemos distinguir duas classes principais de proteínas:

a) as proteínas ditas «fibrosas» são moléculas bem alongadas que desempenham nos sêres vivos um papel sobretudo mecânico, à maneira da enxárcia de um navio à vela; embora as propriedades de algumas dessas proteínas (as do músculo) sejam muito interessantes, não falaremos delas aqui;

b) as proteínas ditas «globulares» são de longe as mais numerosas e, por suas funções, as mais importantes. Nessas proteínas as fibras constituídas pela polimerização seqüencial dos aminoácidos se dobram sôbre si mesmas, de modo extremamente complexo, conferindo assim a essas moléculas uma estrutura compacta, pseudoglobular.[3]

Os sêres vivos, mesmo os mais simples, contêm um número muito grande de proteínas diferentes. Podemos estimar êsse número em 2.500 ± 500 para a bactéria *Escherichia Coli* (5.10^{-13} g em pêso e 2μ de comprimento mais ou menos). Para os animais superiores, como o homem, podemos afirmar a cifra de um milhão como ordem de grandeza.

◈

as proteínas-enzimas como catalisadores específicos

Entre os milhares de reações químicas que contribuem para o desenvolvimento e para as performances de um organismo, cada uma é provocada eletivamente por uma proteína-enzima particular. Mal simplificando, podemos admitir que cada enzima, no organismo, só exerce sua atividade catalítica em apenas um ponto do metabolismo. É antes de tudo por sua extraordinária *eletividade* de ação que as enzimas se distinguem dos catalisadores não biológicos empregados no laboratório ou na indústria. Entre êstes há os muito ativos, isto é, capazes em quantidade muito fraca de acelerar consideràvelmente diversas reações. No entanto, nenhum dêsses catalisadores se assemelha à mais «vulgar» enzima em especificidade de ação.

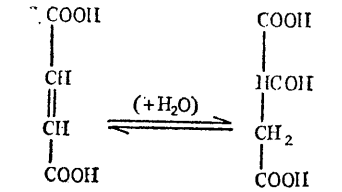
[3] Ver Apêndices no final.

Essa especificidade é dupla:

1. cada enzima catalisa apenas um só tipo de reação;

2. entre os corpos, às vêzes muito numerosos no organismo, suscetíveis de sofrer êsse tipo de reação, a enzima em geral só é ativa em relação a apenas um. Alguns exemplos permitirão aclarar essas proposições.

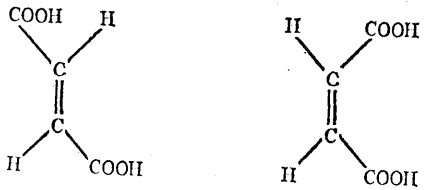
Existe uma enzima (chamada fumarase) que catalisa a hidratação (adição de água) do ácido fumárico em ácido málico:



Ácido fumárico — Ácido málico

Essa reação é reversível e a mesma enzima catalisa igualmente a desidratação do ácido málico em ácido fumárico.

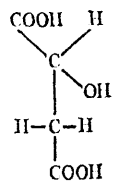
Contudo, existe um isômero geométrico do ácido fumárico, o ácido maleico:



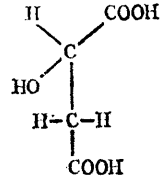
Ácido fumárico — Ácido maleico

quìmicamente capaz de sofrer a mesma hidratação. A enzima é totalmente inativa em relação ao segundo. Mas, além disso, existem dois isômeros *óticos* do ácido málico, o qual possui um carbono assimétrico.[1]

Êsses dois corpos, imagens um do outro no espelho, são quìmicamente equivalentes e pràticamente inseparáveis pelas técnicas químicas clássicas. Entre os



Ácido L-málico



Ácido D-málico

dois, no entanto, a enzima exerce uma discriminação absoluta. Com efeito:

1. a enzima desidrata exclusivamente o ácido L-málico, para produzir exclusivamente o ácido fumárico;

2. a partir do ácido fumárico, a enzima produz exclusivamente o ácido L-málico, mas não o ácido D-málico.

A discriminação rigorosa exercida pela enzima entre os isômeros óticos não constitui sòmente uma ilustração surpreendente da especificidade *estérica* das enzimas. Em primeiro lugar, encontramos aí a explicação do fato, por muito tempo misterioso, de que, entre os numerosos constituintes químicos celulares que são dissimétricos (na realidade é o caso da maioria), um só dos dois isômeros óticos é em geral represen-

[1] Os corpos que compreendem um átomo de carbono ligado a quatro agrupamentos diferentes são, por isso, desprovidos de simetria. Dizemo-los "òticamente ativos", pois a travessia de tais corpos pela luz polarizada faz sofrer, no plano de polarização, uma rotação para a esquerda (corpos levógiros: L) ou para a direita (corpos dextrógiros: D).

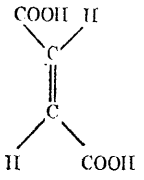
tado na biosfera. Mas, em segundo lugar, conforme o princípio muito geral de Curie sôbre a conservação de simetria, o fato de que, a partir de um corpo òticamente simétrico (ácido fumárico), um corpo dissimétrico seja obtido, impõe que:

1. a própria enzima constitua a «fonte» de dissimetria; portanto, que ela própria seja òticamente ativa, o que é exatamente o caso;

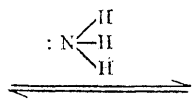
2. a simetria inicial do substrato se perca no curso de sua interação com a proteína-enzima. Portanto, é preciso que a reação de hidratação ocorra no interior de um «complexo» formado por uma associação temporária entre a enzima e o substrato; num tal complexo, a simetria inicial do ácido fumárico se perderia efetivamente.

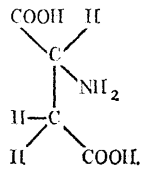
A noção de *complexo estereoespecífico* como dando a conhecer tanto a especificidade quanto a atividade catalítica das enzimas é de importância central. Voltaremos a isso depois de discutir alguns outros exemplos.

Existe (em certas bactérias) uma outra enzima, chamada aspartase, que também age exclusivamente sôbre o ácido fumárico, com exceção de qualquer outro corpo, notadamente de seu isômero geométrico, o ácido málico. A reação de «adição sôbre ligação dupla» catalisada por essa enzima é estreitamente análoga à precedente. Agora, não é mais uma molécula de água, mas de amoníaco, que é condensada com o ácido fumárico, para dar um ácido aminado, o aspártico:



Ácido fumárico



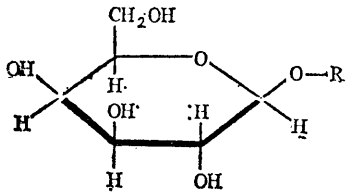


Ácido aspártico

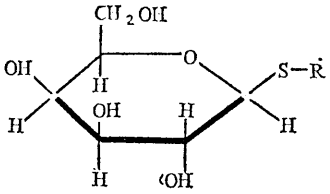
O ácido aspártico possui um carbono assimétrico. É, portanto, òticamente ativo. Como no caso precedente, a reação enzimática produz exclusivamente um dos isômeros, o da série L, dito isômero «natural», pois os ácidos aminados que entram na composição das proteínas pertencem todos à série L.

As duas enzimas, aspartase e fumarase, discriminam, pois, estritamente, não apenas entre os isômeros óticos e geométricos de seus substratos e produtos, mas também entre as moléculas de água e de amoníaco. Somos levados a admitir que essas últimas moléculas também entram na composição do complexo estereoespecífico, em cujo interior se produz a reação de adição, e que, nesse complexo, as moléculas estão rigorosamente posicionadas umas em relação às outras. É dêsse posicionamento que resulta tanto a especificidade de ação quanto a estereoespecificidade da reação.

Dos exemplos precedentes, só a título de hipótese explicativa poderia ser deduzida a existência de um complexo estereoespecífico como intermediário da reação enzimática. Em certos casos favoráveis, é possível demonstrar diretamente a existência dêsse complexo. É o caso da enzima β-galactosidase, que catalisa especìficamente a hidrólise dos corpos que possuem a estrutura dada pela fórmula A:



(A)



(B)

(nessas fórmulas, R representa um radical qualquer).

Lembremos que existem numerosos isômeros de tais corpos (16 isômeros geométricos, que diferem pela orientação relativa dos agrupamentos OH e H sôbre os carbonos 1 a 5, mais os antípodas óticos de cada um dêsses isômeros).

De fato, a enzima discrimina rigorosamente entre todos êsses isômeros, e só hidrolisa um dentre êles. Contudo, podemos «enganar» a enzima sintetizando «análogos estéricos» dos corpos dessa série, nos quais o oxigênio da ligação hidrolisável é substituído por enxôfre (fórmula B, acima). O átomo de enxôfre mais volumoso do que o de oxigênio tem a mesma valência, e a orientação das valências é a mesma para os dois átomos. A *forma* tridimensional dêsses derivados enxofrados é, pois, pràticamente a mesma que a de seus homólogos com oxigênio. Mas a ligação formada pelo enxôfre é muito mais estável que a do oxigênio. Êsses corpos, portanto, não são hidrolisados pela enzima. Contudo podemos mostrar *diretamente* que formam com a proteína um complexo estereoespecífico.

Tais observações não só confirmam a teoria do complexo, mas também mostram que uma reação enzimática deve ser considerada como comportando duas etapas distintas.

1. a formação de um complexo estereoespecífico entre proteínas e substrato;

2. a ativação catalítica de uma reação no interior do complexo; reação *orientada* e *especificada* pela estrutura do próprio complexo.

Essa distinção é de importância capital e nos vai permitir depreender uma das mais importantes noções da biologia molecular. Mas antes devemos lembrar que, entre os diferentes tipos de ligações que po-

dem contribuir para a estabilidade de um edifício químico, é preciso distinguir duas classes:

a) as ligações ditas covalentes;

b) as ligações não-covalentes.

ligações covalentes e não-covalentes

As ligações covalentes (às quais reservamos freqüentemente o nome de «ligação química» *sensu stricto*) são devidas à colocação em comum de orbitais eletrônicos entre dois ou vários átomos. As ligações não-covalentes são devidas a vários outros tipos de interações (que não implicam a partilha de orbitais eletrônicos).

Para o que nos interessa aqui, não é necessário especificar a natureza das fôrças físicas que intervêm nesses diferentes tipos de interações. Sublinhemos primeiramente que as duas classes de ligações diferem uma da outra pela energia das associações que elas garantem. Simplificando um pouco, e precisando que só consideramos aqui reações que se produzem em fase aquosa, com efeito podemos admitir que a energia absorvida ou liberada, em média, por uma reação implicando ligações covalentes, é da ordem de 5 a 20 kcal (por ligação). Para uma reação implicando ùnicamente ligações não-covalentes, a energia média seria de 1 a 2 kcal.[5]

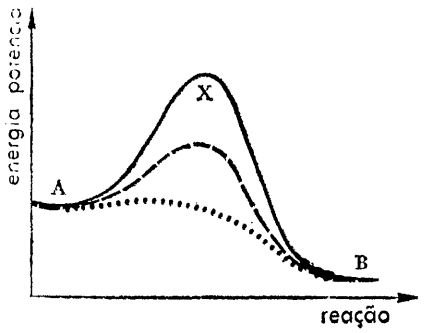
Essa importante diferença dá a conhecer em parte a diferença de estabilidade entre edifícios «covalentes» e «não-covalentes». O essencial não está aí, mas na diferença das energias ditas de «ativação» postas

[5] Lembremos que a energia de uma ligação é, por definição, aquela que é preciso fornecer *para rompê-la*. Mas, de fato, a maioria das reações químicas, notadamente bioquímicas, consistem na *troca* de ligações, mais do que em sua ruptura pura e simples. A energia posta em funcionamento numa reação é aquela que corresponde a uma *troca* do tipo:

$$AY + BX \longrightarrow AX + BY$$

ela é portanto sempre inferior à energia de ruptura.

em funcionamento nos dois tipos de reações. Essa noção é de extrema importância. Para precisá-la, lembremos que uma reação fazendo passar uma população molecular de um determinado estado estável para um outro, deve ser considerada como compreendendo um estado intermediário, de energia potencial *superior* à dos dois estados finais. Freqüentemente representamos êsse processo por um gráfico cuja abcissa representa a progressão da reação, e a ordenada, a energia potencial (figura 1). A diferença de energia potencial entre os estados finais corresponde à energia liberável pela reação. A diferença entre o estado inicial e o estado intermediário (dito «ativado») é a energia de ativação. É a energia que as moléculas devem *transitòriamente* adquirir para entrar em reação. Essa energia, adquirida numa primeira etapa, liberada na segunda, não figura no balanço termodinâmico final. É dela, porém, que depende a *rapidez* da reação, que será pràticamente nula, na temperatura comum, se a energia de ativação fôr elevada. Para provocá-la, será necessário, portanto, ou aumentar consideràvelmente a temperatura (de que depende a



A: estado estável inicial.
B: estado estável final.
X: estado intermediário, de energia potencial superior à dos dois estados estáveis.
Traço contínuo: reação covalente.
Traço interrompido: reação covalente em presença de um catalisador que abaixa a energia de ativação.
Traço pontilhado: reação não-covalente.

Figura 1 Diagrama de variação da energia potencial das moléculas durante uma reação.

fração de moléculas que adquiriram a energia suficiente), ou então empregar um catalisador cujo papel é o de «estabilizar» o estado ativado, portanto, o de reduzir a diferença de potencial entre êsse estado e o estado inicial.

Ora, e isso é o ponto importante, em geral:

a) a energia de ativação das reações covalentes é elevada; sua rapidez é, pois, muito fraca ou nula em temperatura baixa e na ausência de catalisadores;

b) a energia de ativação das reações não-covalentes é muito fraca, senão nula; portanto, elas se produzem espontânea e *muito ràpidamente,* em temperatura fraca, e *na ausência de catalisadores.*

Disso resulta que as estruturas definidas por interações não-covalentes só podem atingir uma certa estabilidade, se põem em funcionamento interações *múltiplas.* Ademais, as interações não-covalentes só adquirem uma energia notável, quando os átomos se encontram em distâncias muito fracas, pràticamente «ao contacto» uns dos outros. Em conseqüência, duas moléculas (ou regiões de moléculas) só poderão contrair uma associação não-covalente, se as superfícies das duas moléculas compreenderem *áreas complementares* permitindo a vários átomos de uma entrarem em contacto com vários átomos da outra.

a noção de complexo estereoespecífico não-covalente

Se agora acrescentarmos que os complexos formados entre enzima e substrato são de natureza não-covalente, veremos por que êsses complexos são necessàriamente estereoespecíficos: só podem formar-se caso a molécula de enzima comporte uma área exatamente «complementar» da forma da molécula de substrato. Veremos também que, no complexo, a molécula de substrato está necessàriamente posicionada de modo bastante rigoroso, graças às múltiplas interações que a associam à área receptora da molécula de enzima.

Enfim, veremos que, segundo o *número* de interações não-covalentes que êle põe em funcionamento, a estabilidade de um complexo não-covalente poderá variar numa escala muito ampla. Trata-se de uma valiosa propriedade dos complexos não-covalentes: sua estabilidade pode ser exatamente adaptada à função desempenhada. Os complexos enzima-substrato devem poder fazer-se e desfazer-se ràpidamente; esta é a condição de uma alta atividade catalítica. Com efeito, êsses complexos são fácil e ràpidamente dissociáveis. Outros complexos, cuja função é permanente, adquirem uma estabilidade da mesma ordem que a de uma associação covalente.

Até aqui discutimos apenas a primeira etapa de uma reação enzimática: a formação do complexo estereoespecífico. A própria etapa catalítica, que segue a formação do complexo, não nos deterá por mais tempo, pois não coloca problemas tão profundamente significantes, do ponto de vista biológico, quanto a precedente. Admitimos hoje que a catálise enzimática resulta da ação indutora e polarizante de certos agrupamentos químicos, presentes no «receptor específico» da proteína. Especificidade à parte (devida ao posicionamento muito preciso da molécula de substrato em relação aos grupos indutores), o efeito catalítico se explica por esquemas semelhantes àqueles que dão a conhecer a ação dos catalisadores não-biológicos (tais como, notadamente, os íons H^+ e OH^-).

A formação do complexo estereoespecífico, preludiando o próprio ato catalítico, pode, portanto, ser considerada como desempenhando as duas funções ao mesmo tempo:

1. a *escolha* exclusiva de um substrato, determinada por sua estrutura estérica;

2. a *apresentação* do substrato segundo uma orientação precisa que limita e especifica o efeito catalítico dos grupos indutores.

A noção de complexo estereoespecífico não-covalente não se aplica apenas às enzimas, nem mesmo apenas, como veremos, às proteínas. Ela é de importância central para a interpretação de todos os fenômenos de escolha, de discriminação eletiva, que caracterizam os sêres vivos e lhes dão a aparência de escapar da sorte que o segundo princípio prevê. A êste propósito, é interessante considerar novamente o exemplo da fumarase.

Se realizarmos a aminação do ácido fumárico pelos meios da química orgânica, obtemos uma mistura dos dois isômeros óticos do ácido aspártico. Em contrapartida a enzima catalisa exclusivamente a formação de ácido L-aspártico. Por isso, traz uma informação exatamente correspondente a uma escolha binária (pois há dois isômeros). Aí vemos, no nível mais elementar, como a informação estrutural pode ser criada e distribuída nos sêres vivos. A enzima possui, na estrutura de seu receptor estereoespecífico, a informação correspondente a essa escolha. Mas a energia necessária à *amplificação* dessa informação não provém da enzima: para orientar a reação exclusivamente segundo um dos dois caminhos possíveis, a enzima utiliza o potencial químico constituído pela solução de ácido fumárico. Tôda atividade de síntese das células, por mais complexa que seja, em última análise é interpretável nos mesmos têrmos.

◈

o demônio de Maxwell

Êsses fenômenos, prodigiosos por sua complexidade e eficácia na realização de um programa prèviamente fixado, impõem evidentemente a hipótese de que são guiados pelo exercício de funções de algum modo «cognitivas». Era esta função que Maxwell atribuía a seu demônio microscópico. Lembremo-nos de que êste demônio, pôsto no orifício de comunicação entre dois

reservatórios cheios de um gás qualquer, era suposto manobrar, sem consumo de energia, um alçapão ideal permitindo-lhe interditar a passagem de certas moléculas de um reservatório para o outro. Portanto, o demônio podia «escolher» deixar passar só num sentido as moléculas rápidas (de energia elevada), e num outro, apenas as moléculas lentas (de energia fraca). O resultado disso seria que, dos dois reservatórios primitivamente com a mesma temperatura, um se esquentaria, ao passo que o outro se esfriaria, tudo isso sem consumo aparente de energia. Por mais imaginária que fôsse, esta experiência não deixaria de embaraçar os físicos: com efeito, parecia que, *pelo exercício de sua função cognitiva,* o demônio tinha o poder de violar o segundo princípio. E como esta função cognitiva não parecia nem mensurável, nem mesmo definível, do ponto de vista físico, tudo indica que o «paradoxo» de Maxwell deveria escapar de tôda análise em têrmos operacionais.

A chave do paradoxo foi dada por Léon Brillouin, inspirado num trabalho anterior de Szilard: êle demonstrou que o exercício das funções cognitivas pelo demônio *necessàriamente* devia consumir uma certa quantidade de energia que, no balanço final da operação, compensaria precisamente a diminuição de entropia do sistema. Com efeito, para que o demônio feche o alçapão «com conhecimento de causa», é necessário que antes tenha *medido* a rapidez de cada partícula de gás. Ora, tôda medida, isto é, tôda *aquisição de informação* supõe uma interação por si mesma consumidora de energia.

Êste célebre teorema é uma das fontes das modernas concepções relativas à equivalência entre a informação e a entropia negativa. Aqui, êste teorema nos interessa porque as enzimas exercem precisamente, em escala microscópica, uma função criadora de ordem. Mas esta criação de ordem, como vimos, não

é gratuita; ela ocorre na dependência de um consumo de potencial químico. Em definitivo, as enzimas funcionam exatamente à maneira do Demônio de Maxwell corrigido por Szilard e Brillouin, drenando o potencial químico nas vias escolhidas pelo programa de que são as executantes.

Retenhamos a noção essencial desenvolvida neste capítulo: é graças à sua capacidade de formar, com outras moléculas, complexos *estereoespecíficos* e *não-covalentes*, que as proteínas exercem suas funções «demoníacas». Os próximos capítulos ilustrarão a importância central desta noção-chave, que reencontraremos como interpretação última das mais distintivas propriedades dos sêres vivos.

IV. CIBERNÉTICA MICROSCÓPICA

Em virtude mesmo de sua extrema especificidade, uma enzima «clássica» (tais as que foram tomadas como exemplo no capítulo anterior) constitui uma unidade funcional totalmente independente. A função «cognitiva» dêsses «demônios» limita-se ao reconhecimento de seu substrato específico, com exclusão de qualquer outro corpo, como de qualquer acontecimento que possa produzir-se na maquinaria química da célula.

coerência funcional da maquinaria celular

A simples inspeção de um esquema resumindo os conhecimentos atuais sôbre o metabolismo celular bastaria para fazer-nos adivinhar que, embora, em cada etapa, a enzima que tenha responsabilidade disso realizasse sua tarefa até a perfeição, a soma total dessas atividades só poderia conduzir ao caos, se elas não fôssem, de algum modo, submissas umas às outras para formar um sistema coerente. Ora, por outro lado, temos as provas mais evidentes da extrema eficácia da maquinaria química dos sêres vivos, dos mais «simples» aos mais «complexos».

Nos animais, há muito tempo conhecemos a existência de sistemas que garantem a coordenação em grande escala das performances do organismo. Tais são as funções do sistema nervoso e do sistema endócrino. Êstes sistemas garantem a coordenação entre órgãos ou entre tecidos, isto é, *entre células*. Pesquisas que na maioria datam dos vinte, senão dos dez ou cinco últimos anos, revelaram que no interior de cada célula uma rêde cibernética quase tão complexa (ou mais ainda) garante a coerência funcional da maquinaria química intracelular.

proteínas regulatórias e lógica das regulações

Ainda estamos muito longe de ter analisado em sua totalidade o sistema que governa o metabolismo, o crescimento e a divisão das células mais simples que conhecemos, as bactérias. Mas, graças à análise detalhada de algumas partes dêste sistema, àtualmente compreendemos muito bem os princípios de seu funcionamento. No presente capítulo discutiremos sôbre êstes princípios. Veremos que as operações cibernéticas elementares são garantidas por proteínas especializadas, desempenhando o papel de detectores e integradores de informação química.

Entre as proteínas reguladoras, as mais conhecidas hoje são enzimas ditas «alostéricas». Estas enzimas constituem uma classe particular, por causa das propriedades que as distinguem das enzimas «clássicas». Como estas últimas, as enzimas alostéricas reconhecem, associando-se a êle, um substrato específico, e ativam sua conversão em produtos. Mas, além disso, estas enzimas têm a propriedade de reconhecer eletivamente um ou vários *outros* compostos cuja associação (estereoespecífica) com a proteína tem por efeito modificar, isto é, conforme os casos, *aumentar* ou *inibir sua atividade em relação ao substrato*.

A função reguladora, coordenadora, das interações dêsse tipo (ditas interações alostéricas) atualmente está provada por inumeráveis exemplos. Podemos classificar estas interações num certo número de «modos regulatórios», segundo as relações existentes entre a reação considerada e a origem metabólica dos «efetuadores alostéricos» que a dominam. Os principais modos reguladores são os seguintes (figura 2):

1. *Inibição retroativa:* a enzima que catalisa a primeira reação de uma seqüência terminando num metabolito essencial (constituindo proteínas ou ácidos nucleicos, por exemplo) [1] é inibida pelo produto último da seqüência. A concentração intracelular dêste metabolito governa portanto a rapidez de sua própria síntese.

2. *Ativação retroativa:* a enzima é ativada por um produto de degradação do metabolito último. Êste caso é freqüente para os metabolitos cujo elevado potencial químico constitui uma moeda de trôco no metabolismo. Êste modo de regulação, portanto, contribui para manter num nível prescrito o potencial químico disponível.

3. *Ativação em paralelo:* a primeira enzima de uma seqüência metabólica conduzindo a um metabolito essencial é ativada por um metabolito sintetizado por uma seqüência independente e paralela. Êste modo de regulação contribui para ajustar recìprocamente as concentrações de metabolitos pertencentes a uma mesma família e destinados a congregar-se numa das classes de macromoléculas.

4. *Ativação por um precursor:* a enzima é ativada por um corpo que é um precursor mais ou menos longínquo de seu substrato imediato. Êste modo de

[1] Chamamos "metabolito" todo corpo produzido pelo metabolismo; "metabolitos essenciais" os corpos universalmente exigidos para o crescimento e a multiplicação das células.

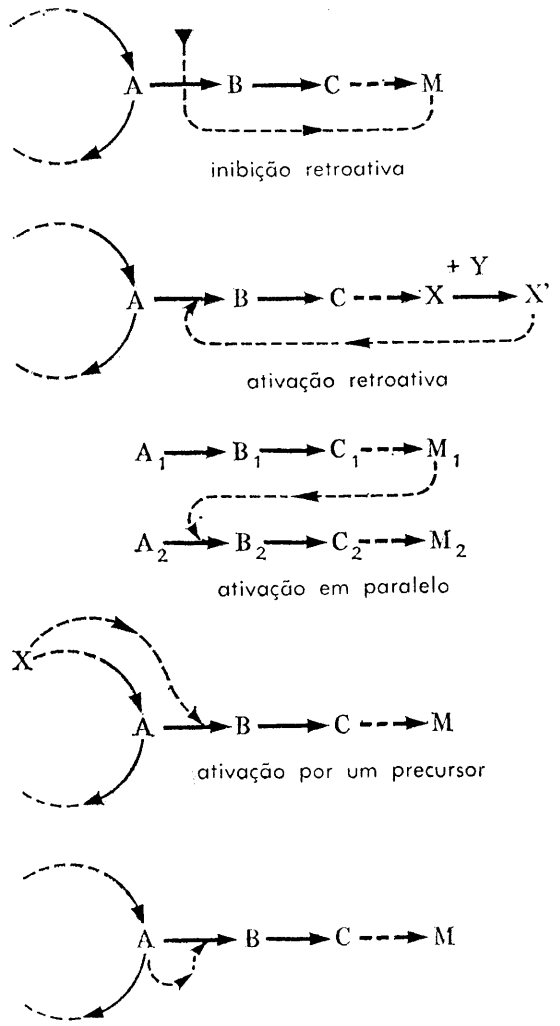


Figura 2. Diversos "modos regulatórios" garantidos por interações alostéricas.

As flechas com traço contínuo simbolizam reações produzindo corpos intermediários (marcados A, B, etc.). A letra M representa o metabolito terminal, final da seqüência de reações. O traço pontilhado indica a origem e o ponto de aplicação de um metabolito agindo como efetuador alostérico, inibidor ou ativador de uma reação (ver texto p. 76s).

regulação, em suma, submete a «demanda» à «oferta». Um caso particular e extremamente freqüente dêste modo regulatório é a ativação da enzima pelo próprio substrato, que desempenha ao mesmo tempo seu papel «clássico» e o de efetuador alostérico em relação à enzima.

É raro que uma enzima esteja sujeita a apenas um dêstes modos de regulação. Em geral estas enzimas estão simultâneamente submetidas a vários efetuadores alostéricos, antagonistas ou cooperativos. Uma situação freqüentemente encontrada é a de uma regulação «ternária» compreendendo:

1. ativação pelo substrato (modo 4);
2. inibição pelo produto último da seqüência (modo 1);
3. ativação em paralelo por um metabolito da mesma família que o produto último (modo 3).

A enzima, portanto, reconhece os três efetuadores simultâneamente, «mede» suas concentrações relativas, e sua atividade em todos os momentos representa a soma destas três informações.

Para ilustrar o refinamento dêstes sistemas, podemos mencionar, por exemplo, os modos de regulação das vias metabólicas «ramificadas» que são numerosas (figura 3). Nesse caso, em geral, não só as reações iniciais, situadas na bifurcação metabólica, são reguladas pela inibição retroativa, mas também a reação inicial do ramo comum é governada ao mesmo tempo pelos dois (ou vários) metabolitos finais.[2] O perigo de bloqueamento da síntese de um dos metabolitos por um excesso do outro é evitado, conforme os casos, de duas maneiras diferentes:

[2] E. R. Stadman, *Advances in Enzymology*, 28, 41-159 (1966). G. N. Cohen, *Current Topics in Cellular Regulation*, 1, 183-231 (1969).

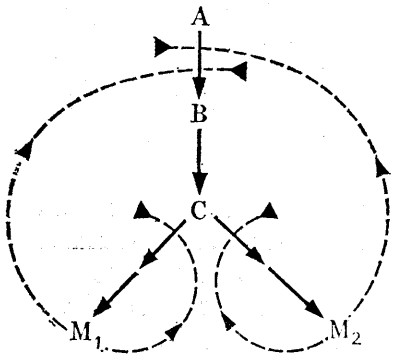


Figura 3. Regulação alostérica das vias metabólicas ramificadas.
Mesma simbólica que na fig. 2 (ver texto à p. 79).

1. seja afetando nesta única reação duas enzimas alostéricas distintas, cada uma inibida por um dos metabolitos, com a exclusão do outro;

2. seja com uma enzima apenas, que só é inibida de uma maneira «combinada» pelos dois metabolitos ao mesmo tempo, mas não por um só dêles.

Devemos insistir no fato de que, substrato à parte, os efetuadores que regulam a atividade de uma enzima alostérica em nada participam da reação mesma. Em geral, não formam com a enzima senão um complexo não-covalente, inteira e instantâneamente reversível, de onde são liberados sem nenhuma modificação. O consumo de energia correspondente à interação reguladora é pràticamente nulo: representa apenas uma fração ínfima do potencial químico intracelular dos efetuadores. Em contrapartida, a reação catalítica governada por estas interações muito fracas pode implicar transferências de energia relativamente consideráveis. Portanto, êstes sistemas são comparáveis àqueles empregados em circuitos eletrônicos de automação, onde a energia muito fraca consumida por um relé poderá provocar uma operação

considerável, como, por exemplo, a ignição de um foguete balístico.

◈

Assim como um relé eletrônico pode ser submetido a vários potenciais elétricos, assim também, conforme já vimos, uma enzima alostérica o é em geral a vários potenciais químicos. A analogia, porém, vai mais longe ainda. Como sabemos, geralmente há interêsse em que a resposta de um relé eletrônico seja *não-linear* em relação às variações do potencial que o governa. Obtemos assim efeitos de limiar garantindo uma regulação mais precisa. Assim também ocorre no caso da maioria das enzimas alostéricas. O gráfico representando a variação de atividade de uma tal enzima, em função da concentração de um efetuador (inclusive o substrato), é quase sempre «sigmoidal». Em outros têrmos, o efeito do ligante cresce primeiramente *mais depressa* que sua concentração. Esta propriedade é tanto mais notável quanto parece característica das enzimas alostéricas. Nas enzimas comuns, ou «clássicas», o efeito cresce sempre *mais lentamente que a concentração.*

Não sei qual poderia ser o pêso mínimo de um relé eletrônico apresentando as mesmas propriedades lógicas que uma enzima alostérica média (medida e soma de três ou quatro potenciais, comandando uma resposta com efeito de limiar). Coloquemos 10^{-2} gramas como ordem de grandeza. O pêso de uma molécula de uma enzima alostérica capaz das mesmas performances é da ordem de 10^{-17} gramas, isto é, um milhão de bilhões de vêzes menos que o relé eletrônico. Êste número astronômico dá uma idéia da «potência cibernética» (ou teleonômica) de que pode dispor uma célula provida de algumas centenas ou mi-

lhares de espécies dêsses sêres microscópicos, muito mais inteligentes ainda que o Demônio de Maxwell-Szilard-Brillouin.

mecanismo das interações alostéricas

Trata-se de saber como essas performances complexas são realizadas pelo relé molecular constituído por uma proteína alostérica. Confiantes num conjunto de fatos experimentais, atualmente admitimos que as interações alostéricas são devidas a transições discretas de estrutura molecular da proteína mesma. No próximo capítulo veremos que a estrutura complicada e compacta de uma proteína globular é estabilizada por numerosíssimas ligações não-covalentes que, juntas, cooperam para a manutenção da estrutura. Concebemos então que, em certas proteínas, dois (ou vários) estados estruturais sejam acessíveis (assim como certos corpos podem existir em diferentes estados alótropos). Freqüentemente simbolizamos os dois estados em questão e a «transição alostérica» que faz passar a molécula reversìvelmente de um para o outro, da seguinte maneira:

(R) (T)

Isso pôsto, admitimos (e demonstramos diretamente nos casos favoráveis) que, por causa das estruturas *estéricas* diferentes dos dois estados, as propriedades de reconhecimento estereoespecíficas da proteína são modificadas pela transição. Por exemplo, no estado «R», a proteína poderá associar-se a um ligante[3] α, mas não a um outro ligante β que será

[3] Damos o nome de "ligante" a um corpo caracterizado como tendendo a se *ligar* a um outro.

reconhecido (com exclusão de α) pelo estado «T». Portanto, a presença de um dos ligantes terá por efeito estabilizar um dos estados às custas do outro, e vemos que α e β serão antagonistas um do outro, pois suas associações respectivas com a proteína são mùtuamente exclusivas. Suponhamos agora um terceiro ligante γ (que poderia ser o substrato) associando-se exclusivamente com a forma R, numa região da molécula diferente daquela em que se fixa α. Vemos que α e γ cooperarão para a estabilização da proteína no estado ativo (aquêle que reconhece o substrato). O ligante γ e o substrato α agirão, pois, como ativadores; o ligante β, como inibidor. A atividade de uma população de moléculas será proporcional à fração dentre elas que se encontrar no estado R, fração que evidentemente depende da concentração relativa dos três ligantes, como também do valor do equilíbrio intrínseco entre R e T. É dêste modo que a reação catalítica se submeterá aos valôres dos três potenciais químicos.

Insistamos agora na noção, de longe a mais importante, que implica êste esquema: as interações cooperativas ou antagonistas dos três ligantes são *totalmente indiretas. De fato, não há interações entre os próprios ligantes, mas exclusivamente entre a proteína e cada um dêles em separado.* Mais adiante voltaremos a esta noção fundamental, fora da qual parece impossível compreender a origem e o desenvolvimento dos sistemas cibernéticos nos sêres vivos.[4]

A partir dêste esquema de interações indiretas, é possível dar a conhecer igualmente o sutil aperfeiçoamento representado pela resposta «não linear» da proteína às variações de concentração de seus efetuadores. Tôdas as proteínas alostéricas conhecidas são,

[4] J. Monod, J.-P. Changeux, e F. Jacob, *Journal of Molecular Biology*, 6, p. 306-329 (1963).

com efeito, «oligômeros», compostos pela associação não-covalente de subunidades (protômeros) quìmicamente idênticas, em pequeno número (freqüentemente 2 ou 4; mais raramente 6, 8 ou 12). Cada protômero leva um receptor para cada um dos ligantes que a proteína reconhece. Por causa de sua associação com um ou vários outros protômeros, a estrutura estérica de cada um é parcialmente «coagida» por seus vizinhos. Mas a teoria, confirmada pela experiência dos cristalógrafos, mostra que as proteínas oligoméricas tendem a adotar estruturas tais que todos os protômeros sejam geomètricamente equivalentes; as coações que êles sofrem são, portanto, distribuídas simètricamente entre os protômeros.

Tomemos agora o caso mais simples, o de um dímero: observemos o que acarreta sua dissociação em dois monômeros; vemos que a ruptura da associação vai permitir que os dois monômeros adotem um estado «relaxado», estruturalmente diferente daquele a que cada um era «coagido» no estado associado.

Diremos que a mudança de estado dos dois protômeros é «combinada». É esta combinação que dá a conhecer a não-linearidade de resposta; com efeito, a estabilização, por uma molécula de ligante, do estado dissociado R num dos monômeros interdita o retôrno do outro ao estado associado, e assim também no sentido inverso. O equilíbrio entre os dois estados será uma função quadrática da concentração dos ligantes. Seria uma função potência quatro para um tetrâmero, e assim por diante.[5]

Tratei voluntàriamente apenas do modêlo mais simples possível, efetivamente realizado por certos sistemas que devemos considerar como «primitivos». Nos sistemas reais, a dissociação só raramente é comple-

[5] J. Monod, J. Wyman, e J.-P. Changeux, *Journal of Molecular Biology*, 12, pp. 88-118 (1965).

ta: os protômeros permanecem associados nos dois estados, embora de modo mais frouxo num dêles.

Aliás, numerosas variações são possíveis sôbre êsse tema de base, mas o essencial era mostrar que mecanismos moleculares extremamente simples em si mesmos permitem dar a conhecer as propriedades «integrativas» das proteínas alostéricas.

◈

As enzimas alostéricas citadas até agora constituem ao mesmo tempo uma unidade de função química e um elemento mediador de interações reguladoras. Suas propriedades permitem compreender como o estado homeostático do *metabolismo celular* é conservado com o máximo de eficácia e de coerência.

regulação da síntese das enzimas

Mas por «metabolismo» entendemos essencialmente as transformações das pequenas moléculas e a mobilização do potencial químico. A química celular compreende um outro nível de síntese: a das macromoléculas, ácidos nucleicos e proteínas (compreendendo notadamente as próprias enzimas). Há muito tempo, sabemos que neste nível também funcionam sistemas reguladores. Seu estudo é mais difícil que o das enzimas alostéricas e, de fato, um só dêles pôde, até agora, ser quase totalmente analisado. Tomá-lo-emos como exemplo.

Êste sistema (dito «sistema Lactose») governa a síntese de três proteínas na bactéria *Escherichia Coli*. Uma destas proteínas (a galactóside-permease) permite que as galactósides[6] penetrem e se acumulem no interior das células, cuja membrana, na ausência desta proteína, é impermeável a êstes açúcares. Uma segunda proteína hidrolisa as β-galactósides (ver capítulo III). A função da terceira proteína é mal compreendida. Sem dúvida, ela é menor. As duas primeiras, em contrapartida, são simultâneamente indispensáveis à utilização metabólica da lactose (e outras galactósides) pelas bactérias.

Quando estas crescem num meio desprovido de galectósides, as três proteínas são sintetizadas numa taxa apenas mensurável, correspondendo a uma molécula tôdas as cinco gerações em média. Quase imediatamente (em dois minutos mais ou menos) depois da adição de uma galactóside (no caso dita «indutor») ao meio a taxa de síntese das três proteínas aumenta de um fator mil e se mantém neste valor enquanto o indutor estiver presente. Se o indutor fôr retirado, a taxa de síntese recai para seu valor inicial no espaço de dois ou três minutos.

As conclusões da análise dêsse fenômeno maravilhosa e quase miraculosamente teleonômico[7] são resumidas pelo esquema da figura 4. Aqui, nos dispensaremos de discutir a parte direita do esquema que representa as operações de síntese do RNA «mensageiro» e sua «tradução» em seqüências polipeptídicas. Retenhamos apenas que o mensageiro, porque tem uma vida bastante curta (da ordem de alguns minu-

[6] Ver capítulo III.

[7] O pesquisador finlandês Karstrom, que na década de 30 trouxera contribuições notáveis ao estudo dêsses fenômenos, em seguida abandonou a pesquisa, parece que para se fazer monge.

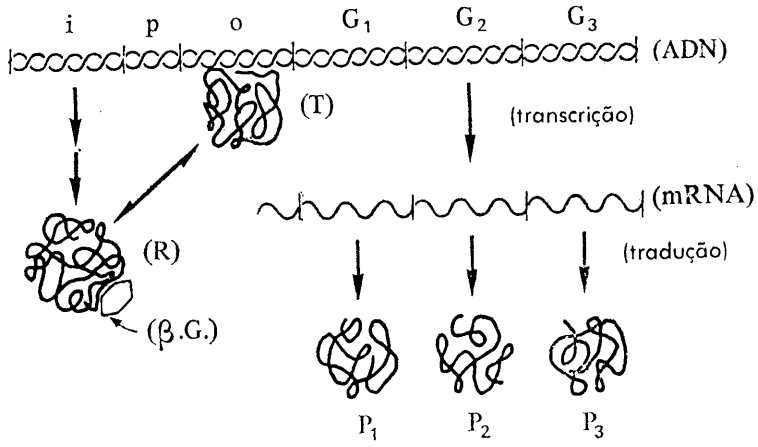


Figura 4: Regulação da síntese das enzimas do "sistema lactose".

R: Proteína-repressor, no estado associado à galactóside introdutora, representada por um hexágono.

R': Proteína-repressor, no estado associado ao segmento operador (O) do ADN.

i: "Gene regulador" governando a síntese do repressor.

p: Segmento "promotor", ponto de partida da síntese do RNA mensageiro (m RNA).

G_1, G_2, G_3: Genes de "estrutura" governando a síntese das três proteínas do sistema, marcadas P_1, P_2, P_3 (Ver texto à p. 88).

tos), é sua taxa de síntese que determina a taxa de síntese das três proteínas. Interessamo-nos essencialmente pelos componentes do sistema regulador. Êstes compreendem:

— o gene «regulador» (i)
— a proteína-repressor (R)
— o segmento «operador» (o) do ADN
— o segmento «promotor» (p) do ADN
— uma molécula de galactóside indutor (βG).

O funcionamento é o seguinte:

a) o gene regulador dirige a síntese, em taxa constante e muito fraca, da proteína repressor;

b) o repressor reconhece especìficamente o segmento operador a que êle se associa num complexo bastante estável (correspondente a um Δ F de uns 15 Kcal);

c) nesse estado a síntese do mensageiro (implicando a intervenção da enzima RNA-polimerase) é bloqueada, provàvelmente por simples impedimento estérico, o ponto de partida desta síntese ocorrendo obrigatòriamente no nível do promotor;

d) o repressor reconhece também as β-galactósides, mas a elas só se associa firmemente no *estado de liberdade;* na presença de β-galactósides, em conseqüência, o complexo operador-repressor se dissocia, permitindo a síntese do mensageiro, portanto das proteínas.[8]

Devemos acentuar que as duas interações do repressor são não-covalentes e reversíveis, e que sobretudo o indutor não é modificado por sua associação com o repressor. Assim, a lógica dêste sistema é de extrema simplicidade: o repressor inativa a transcrição; por sua vez, êle é inativado pelo indutor. Desta dupla negação resulta um efeito positivo, uma «afirmação». Podemos observar que a lógica desta negação da negação não é dialética: ela não chega a uma proposição nova, mas à simples reiteração da proposição original, escrita na estrutura do ADN, conforme ao código genético. A lógica dos sitemas biológicos de regulação não obedece à de Hegel, mas à álgebra de Boole, como a dos computadores.

Hoje conhecemos (nas bactérias) um grande número de sistemas análogos a êste. Nenhum dêles, até

[8] F. Jacob e J. Monod, *Journal of Molecular Biology*, 8, pp. 318-356 (1961). Cf. igualmente "The lactose operon", Cold Spring Harbour Monograph (1970), J. R. Beckwith e David Zipser Edit.

agora, foi totalmente «desmontado». Contudo, parece muito provável que a lógica de alguns dêstes sistemas seja mais complicada que a do sistema «Lactose», sobretudo não comportando exclusivamente interações negativas. Mas as noções mais gerais e mais significantes que podemos tirar da análise do sistema «Lactose» também são válidas para êstes outros sistemas. Estas noções são as seguintes:

a) O repressor, desprovido por si mesmo de tôda atividade, é um puro mediador (transdutor) de sinais químicos.

b) O efeito da galactóside sôbre a síntese da enzima é totalmente indireto, devido exclusivamente às propriedades de reconhecimento do repressor, e ao fato de que dois estados, exclusivos um do outro, lhe sejam acessíveis. Trata-se, portanto, de uma interação alostérica no sentido do esquema geral discutido acima.

c) Não há nenhuma relação *quìmicamente necessária* entre o fato de que a β-galactosidase hidrolise as β-galactósides, e o fato de que sua biossíntese seja induzida pelos mesmos corpos. Fisiològicamente útil, racional, esta relação é quìmicamente arbitrária. Nós a diremos «gratuita».

a noção de gratuidade

A noção fundamental de *gratuidade,* isto é, de independência química entre a função mesma e a natureza dos sinais químicos aos quais ela está submetida se aplica às enzimas alostéricas. Neste caso uma única molécula de proteína desempenha ao mesmo tempo a função catalítica específica e a função reguladora. Mas, como vimos, as interações alostéricas são indiretas, devidas exclusivamente às propriedades diferenciais de reconhecimento estereoespecífico da proteína nos dois (ou vários) estados que lhe são acessíveis. Entre o substrato de uma enzima alostérica e os ligantes que ativam ou inibem sua atividade,

não existe nenhuma relação *quìmicamente necessária* de estrutura ou de reatividade. A especificidade das interações em definitivo é independente da estrutura dos ligantes: ela é totalmente devida à da proteína nos diversos estados que lhe são acessíveis, estrutura por sua vez livremente, arbitràriamente *ditada* pela de um gene.

Disso resulta, e trata-se do ponto fundamental, que, por causa da regulação por intermédio de uma proteína alostérica, *tudo é possível*. Uma proteína alostérica deve ser considerada como um produto especializado de *engineering* molecular, permitindo que uma interação, positiva ou negativa, se estabeleça entre corpos desprovidos de afinidade química e, assim, que submeta uma reação qualquer à intervenção de compostos quìmicamente estranhos e indiferentes a esta reação. O princípio operatório das interações alostéricas autoriza, portanto, uma total liberdade na «escolha» das submissões que, escapando de tôda pressão química, poderão obedecer muito melhor apenas às pressões fisiológicas, em virtude das quais elas serão selecionadas conforme o acréscimo de coerência e de eficácia que conferem à célula ou ao organismo. Em definitivo, foi a própria gratuidade dêstes sistemas que, abrindo para a evolução molecular um campo pràticamente infinito de exploração e de experiências, permitiu-lhe construir a imensa rêde de interconexões cibernéticas que fazem de um organismo uma unidade funcional autônoma, cujas performances parecem transcender as leis da química, para não dizer que delas escapam. De fato, como vimos, quando estas performances são analisadas em escala microscópica, molecular, elas surgem totalmente interpretáveis em têrmos de interações químicas específicas, eletivamente garantidas, livremente escolhidas e organizadas por proteínas reguladoras: é na estrutura destas moléculas que devemos ver a fonte última da au-

tonomia, ou mais exatamente da autodeterminação que caracteriza os sêres vivos em suas performances.

Os sistemas que estudamos até aqui são do tipo daqueles que coordenam a atividade da célula e fazem dela uma unidade funcional. Nos organismos pluricelulares, sistemas especializados garantem a coordenação entre células, tecidos ou órgãos: trata-se não só do sistema nervoso e do sistema endócrino, mas também das interações diretas entre células. Não abordarei aqui a análise do funcionamento dêstes sistemas que ainda escapa quase inteiramente da descrição microscópica. No entanto, admitiremos a hipótese de que, nestes sistemas, as interações moleculares que garantem a transmissão e a interpretação dos sinais químicos, são devidas a proteínas dotadas de propriedades de reconhecimento estereoespecíficas diferenciais, às quais se aplica o princípio essencial de gratuidade química, tal como se depreende do estudo das interações alostéricas pròpriamente ditas.

◈

«wholismo» e reducionismo

Para concluir êste capítulo, talvez devêssemos voltar à antiga discussão entre «reducionistas» e «organicistas». Sabemos que certas escolas de pensamento (tôdas mais ou menos consciente ou confusamente influenciadas por Hegel) pretendem contestar o valor da abordagem analítica quando se trata de sistemas tão complexos quanto os sêres vivos. Segundo essas escolas (organicistas ou «wholistas») que, como a fênix, renascem a cada geração[9], a atitude analítica, qualificada de «reducionista», para sempre seria estéril, como pretendendo reduzir pura e simplesmente as propriedades de uma organização complexa à «soma» das de suas partes. Trata-se de uma péssima e estú-

[9] Cf. *Beyond reductionism*, Koestler e Smythies, Ed. Hutchinson, Londres, 1969.

pida discussão, que testemunha sòmente, nos «wholistas», um profundo desconhecimento do método científico e do papel essencial que nêle desempenha a análise. Seria possível conceber que um engenheiro marciano, querendo interpretar o funcionamento de um computador terrestre, pudesse chegar a um resultado qualquer, caso se recusasse, em princípio, a dissecar os componentes eletrônicos de base que efetuam as operações da álgebra proposicional? Se há um domínio da biologia molecular que ilustra mais do que outros a esterilidade das teses organicistas por oposição ao poder do método analítico, é exatamente o estudo da cibernética microscópica brevemente entrevista no correr dêste capítulo.

A análise das interações alostéricas mostra primeiramente que as performances teleonômicas não são o apanágio exclusivo de sistemas complexos, de componentes múltiplos, pois *uma* molécula de proteína já se mostra capaz não só de ativar eletivamente uma reação, mas também de regular sua atividade em função de várias informações químicas.

Em segundo lugar, vemos, graças à noção de gratuidade, como e por que essas interações reguladoras moleculares, escapando das pressões químicas, puderam ser escolhidas de modo seletivo, em virtude exclusivamente de sua participação na coerência do sistema.

Enfim, o estudo dêstes sistemas microscópicos revela-nos que a complexidade, a riqueza e o poder da rêde cibernética, nos sêres vivos, ultrapassam de muito o que o estudo das performances globais dos organismos nunca deixaria entrever. E, mesmo que estas análises ainda estejam longe de fornecer uma descrição completa do sistema cibernético da mais simples célula, elas revelam que tôdas as atividades, sem

exceção, que concorrem para o crescimento e para a multiplicação desta célula, são, diretamente ou não, submissas umas às outras.

É sôbre tais bases, e não sôbre a de uma vaga «teoria geral dos sistemas» [10], que se nos torna possível compreender em que sentido, bastante real, o organismo, com efeito, transcende, observando-as, as leis físicas para ser mais que demanda e realização de seu próprio projeto.

[10] Von Bertalannfy, in Koestler, *loc. cit.*

V. ONTOGÊNESE MOLECULAR

Os sêres vivos, tanto por suas estruturas macroscópicas quanto por suas funções, são, como vimos, estreitamente comparáveis à máquina. Em contrapartida, dela diferem radicalmente por seu modo de construção. Uma máquina, um artefato qualquer, deve sua estrutura macroscópica à ação de fôrças exteriores, de utensílios agindo sôbre uma matéria para imporlhe uma forma. É o cinzel do escultor que do mármore extrai as formas de Afrodite; a deusa, porém, nasceu da espuma das ondas (fecundadas pelo órgão sangrento de Uranos) de onde seu corpo desabrochou de si mesmo, por si mesmo.

Neste capítulo, gostaria de mostrar que êsse processo de morfogênese espontânea e autônoma repousa em última análise sôbre as propriedades de reconhecimento estereoespecífico das proteínas; que êle é, portanto, de ordem microscópica, antes de manifestar-se em estruturas macroscópicas. Como conclusão, procuraremos nas estruturas primárias das proteínas o «segrêdo» das propriedades cognitivas que fazem dela os demônios de Maxwell animadores e construtores dos sistemas vivos.

Em primeiro lugar, devemos sublinhar que os problemas que abordamos agora, os da mecânica do desenvolvimento, ainda apresentam profundos enigmas para a biologia. Pois, se a embriologia forneceu admiráveis descrições do desenvolvimento, ainda estamos muito longe de saber analisar a ontogênese das estruturas macroscópicas em têrmos de interações microscópicas. Em contrapartida, atualmente, a construção de certos edifícios moleculares é muito bem compreendida, e eu gostaria de mostrar que neste caso trata-se de um verdadeiro processo «de ontogênese molecular», onde se revela a essência física do fenômeno.

Já tive a ocasião de lembrar que as proteínas globulares freqüentemente se apresentam sob forma de agregados contendo um número finito de subunidades quìmicamente idênticas. Sendo o número das subunidades constituintes geralmente pequeno, dizemos que essas proteínas são «oligômeros». Nos oligômeros, as subunidades (protômeros) são associadas exclusivamente por ligações não-covalentes. Ademais, como já vimos, a disposição dos protômeros de uma molécula oligomérica é tal que cada um dêles é geomètricamente equivalente a cada um dos outros. Isso acarreta necessàriamente que cada protômero possa ser convertido em não importa qual dos outros, por uma operação de simetria, na realidade por uma rotação. Podemos demonstrar fàcilmente que os protômeros assim constituídos possuem os elementos de simetria de um dos grupos pontuais de rotação.

Essas moléculas, portanto, constituem verdadeiros cristais microscópicos; pertencendo, porém, a uma classe particular que chamarei a dos «cristais fechados», pois, contràriamente aos cristais pròpriamente ditos (construídos segundo um dos grupos do espaço), êles não podem crescer sem adquirir novos elementos de simetria, perdendo (geralmente) alguns daqueles que possuíam.

Já vimos, enfim, que certas propriedades funcionais dessas proteínas são associadas tanto a seu estado oligomérico como à sua estrutura simétrica. A construção dêsses edifícios microscópicos, portanto, coloca um problema biològicamente significante tanto quanto fisicamente interessante.

a associação espontânea das subunidades nas proteínas oligoméricas

Como os protômeros, numa molécula oligomérica, sòmente são associados por ligações não-covalentes, é freqüentemente possível, através de tratamentos bem moderados (não implicando, por exemplo, o recurso a temperaturas elevadas ou agentes químicos agressivos), dissociá-los em unidades monoméricas. Neste estado, a proteína em geral perdeu tôdas as suas propriedades funcionais, catalíticas ou reguladoras. Ora, e êste é o ponto importante, quando as condições iniciais «normais» são restituídas (por eliminação do agente dissociador), constatamos geralmente que os agregados oligoméricos se reformam espontâneamente, com restauração completa do estado «nativo»: mesmo número de protômeros, mesma simetria acompanhada da reaparição integral das propriedades funcionais.

Além disso, a reassociação de subunidades pertencendo a uma mesma espécie proteínica não se produz apenas numa solução contendo essa única proteína. Ela ocorre, do mesmo modo, em misturas complexas contendo centenas, senão milhares de outras proteínas. Prova de que existe aí, uma vez mais, um processo de reconhecimento de extrema especificidade, evidentemente devido à formação de complexos estéricos não-covalentes associando os protômeros entre si. Processo que é legítimo considerar como *epigenético* [1], pois, a partir de uma solução de moléculas mo-

[1] Sabemos que a aparição de estruturas e de propriedades novas no curso do desenvolvimento embrionário freqüentemente foi qualificada de processo "epigenético", como testemunhando um enriquecimento gradual do organismo a partir do puro dado genético, representado pelo ovo inicial. O adjetivo

nomércas, desprovidas de tôda simetria, surgiram moléculas mais volumosas e de um grau de ordem superior, moléculas que, ao mesmo tempo, adquiriram propriedades funcionais antes totalmente ausentes.

O essencial, para o que nos interessa aqui, é o caráter espontâneo dêsse processo de epigênese molecular. Espontâneo em dois sentidos:

1. O potencial químico necessário à formação dos oligômeros não tem que ser injetado no sistema: devemos considerar que êle está presente na solução de monômeros.

2. Termodinâmicamente espontâneo, o processo o é também cinèticamente: nenhum catalisador é exigido para ativá-lo. Isso evidentemente graças ao fato de que as ligações contraídas são não-covalentes. Já acentuamos a extrema importância do fato de que a formação, como também a ruptura, de tais ligações só põe em funcionamento energias de ativação quase nulas.

estruturação espontânea de partículas complexas

Tal fenômeno é estreitamente comparável à formação de cristais moleculares a partir de uma solução das moléculas constituintes. Aí também há constituição espontânea de ordem, por associação entre elas, de moléculas pertencentes a uma mesma espécie química. A analogia é tanto mais evidente quanto, nos dois casos, vemos formar-se estruturas ordenadas segundo regras geométricas simples e repetitivas. Mas recentemente pôde-se demonstrar que alguns organitos celulares de estrutura muito mais complexa também são os produtos de uma reunião espontânea.

é freqüentemente empregado em referência a teorias, hoje ultrapassadas, que opunham os "preformacionistas" (os quais acreditavam que o óvulo continha uma miniatura do animal adulto) aos "epigenetistas" (os quais acreditavam num enriquecimento *real* da informação inicial). Aqui, emprego êste têrmo para qualificar, sem referência a teoria alguma, todo processo de desenvolvimento estrutural e funcional.

É o caso das partículas chamadas ribossomos, que são componentes essenciais do mecanismo de tradução do código genético, isto é, da síntese das proteínas. Essas partículas, cujo pêso molecular atinge 10^6, são constituídas pela reunião de umas trinta proteínas distintas, assim como de três tipos diferentes de ácidos nucleicos. Ainda que a disposição exata dêsses diferentes constituintes no interior de um ribossomo não seja conhecida, é certo que sua organização é extremamente precisa e que a atividade funcional da partícula depende dela. Ora, a partir dos constituintes dissociados dos ribossomos, assistimos à reconstituição espontânea *in vitro* de partículas de mesma composição, de mesmo pêso molecular, possuindo a mesma atividade funcional que o material «nativo» inicial.[2]

Sem dúvida, porém, o exemplo mais espetacular que hoje conhecemos de construção espontânea de um edifício molecular complexo é o de alguns bacteriófagos.[3] A estrutura complicada e muito precisa do bacteriófago T4 corresponde à função dessa partícula, que não é sòmente a de proteger o genoma (isto é, o ADN) do vírus, mas a de se pregar à parede da célula-hóspede para aí injetar, à maneira de uma seringa, seu conteúdo de ADN. As diferentes peças dessa maquinaria microscópica de precisão podem ser obtidas separadamente a partir de diferentes mutantes do vírus. Misturadas *in vitro,* elas se reúnem *espontâneamente* para reconstituir partículas idênticas às normais e plenamente capazes de exercer sua função de seringa de ADN.[4]

[2] M. Nomura, "Ribosomes", *Scientific American,* 221, 28 (1969).

[3] Chamamos "bacteriófagos" os vírus que combatem as bectérias.

[4] R. S. Edgar e W. B. Wood, "Morphogenesis of bacteriophage T_4 in extracts of mutant infected cells", *Proceedings of the National Academy of Science,* 55, 498 (1966).

UEFS BIBLIOTECA 10271209 CENTRAL UEFS

Tôdas essas observações são relativamente recentes, e podemos esperar progressos importantes nesse domínio de pesquisas, culminando na reconstituição *in vitro* de organitos celulares cada vez mais complexos, tais como mitocondrias ou membranas. Os poucos casos aqui observados bastam, porém, para ilustrar o processo através do qual estruturas complexas, a que estão ligadas propriedades funcionais, são construídas pela reunião estereoespecífica, *espontânea*, de seus constituintes proteínicos. Há «aparição» de ordem, diferenciação estrutural, aquisição de funções a partir de uma mistura desordenada de moléculas individualmente desprovidas de tôda atividade, de tôda propriedade funcional intrínseca diferente da de reconhecer os parceiros com os quais elas vão constituir a estrutura. E, se não podemos mais, em relação aos ribossomos ou aos bacteriófagos, falar de cristalização, pois essas partículas são de um grau de complexidade, isto é, de ordem, muito superior ao que caracteriza um cristal, isso não deixa de significar que, em última análise, as interações químicas postas em funcionamento são da mesma natureza que aquelas que constroem um cristal molecular. Como num cristal, é a própria estrutura das moléculas reunidas que constitui a fonte de «informação» para a construção do conjunto. Portanto, a essência dêsses processos epigenéticos consiste em que a organização de conjunto de um edifício multimolecular complexo já estava contida em potencial na estrutura de seus constituintes, mas não se revelava, não se tornava *atual* senão por sua reunião.

Essa análise, como vemos, reduz a uma disputa verbal, sem o menor interêsse, a antiga querela dos preformacionistas e dos epigenéticos. A estrutura acabada, enquanto tal, em parte alguma era preformada. Mas o plano da estrutura estava presente em seus próprios constituintes. Portanto, ela pode realizar-se

de maneira autônoma e espontânea, sem intervenção exterior, sem injeção de informação nova. A informação estava presente, mas inexprimida, nos constituintes. A construção epigenética de uma estrutura não é uma *criação*, é uma *revelação*.

morfogênese microscópica e morfogênese macroscópica

Os biologistas modernos, reconhecendo que se trata de uma extrapolação a que ainda faltam as verificações diretas, não duvidam de que essa concepção, diretamente fundada no estudo da formação de edifícios microscópicos, também possa e deva dar a conhecer a epigênese das estruturas macroscópicas (tecidos, órgãos, membros, etc.). Com efeito, êsses problemas se colocam em escala totalmente diferente não só em dimensões como também em complexidade. As interações construtivas mais importantes nessa escala ocorrem não entre componentes moleculares, mas entre células. Pudemos mostrar que células isoladas de um mesmo tecido são efetivamente capazes de reconhecer-se entre si, diferencialmente, e de reunir-se. Ainda ignoramos, porém, quais são os componentes ou as estruturas que identificam as células umas em relação às outras. Tudo leva a crer que se trata de estruturas características das membranas celulares. Mas não sabemos se êsses elementos de reconhecimento são estruturas moleculares tomadas individualmente ou rêdes multimoleculares de superfície.[5] De qualquer modo, e mesmo que se trate de rêdes que não seriam exclusivamente constituídas de proteínas, a estrutura de tais rêdes, em última análise, necessàriamente teria sido determinada pelas propriedades

[5] J.-P. Changeux, in "Symmetry and function in biological systems at the macromolecular level", A. Engström e B. Strandberg edit., *Nobel Symposium* N° 11, pp. 235-256 (1969), John Wiley and Sons Inc., New York.

de reconhecimento de seus constituintes proteínicos, assim como pelas propriedades das enzimas responsáveis pela biossíntese dos outros componentes da rêde (polissacarídeos ou lípidos, por exemplo).

Portanto, é possível que as propriedades «cognitivas» das células não sejam a manifestação direta das faculdades discriminativas de algumas proteínas, mas só exprimam essas faculdades por caminhos bastante desviados. Não obstante, a construção de um tecido ou a diferenciação de um órgão, fenômenos macroscópicos, devem ser considerados como a resultante integrada de interações microscópicas múltiplas devidas às proteínas, e repousando sôbre suas propriedades de reconhecimento estereoespecífico, por formação *espontânea* de complexos não-covalentes.

Mas devemos reconhecer que essa «redução ao microscópico» dos fenômenos da morfogênese não constitui, no momento, uma verdadeira teoria dêsses fenômenos. Trata-se, antes, de uma posição de princípio que só especifica os têrmos nos quais essa teoria deveria ser formulada, para que possamos considerá-la como portadora de algo mais que uma simples descrição fenomenológica. Êsse princípio define o fim a ser atingido, mas só fracamente ilumina o caminho a seguir para chegar até êle. Que se pense no problema formidável representado pela interpretação, em escala molecular, do desenvolvimento de um aparelho tão complexo quanto o sistema nervoso central, em que bilhões de interconexões específicas entre células devem ser realizadas, algumas das quais em distâncias relativamente consideráveis.

Êsse problema das influências, das orientações à distância, sem dúvida é o mais difícil e o mais importante da embriologia. Os embriologistas, para dar a conhecer sobretudo fenômenos de regeneração, introduziram a noção de «campo morfogenético» ou de «gradiente». Noção que, a primeira vista, parece ultrapassar de muito a de interação estereoespecífica na escala de alguns Angström. Resta que esta última é a única a apresentar um sentido físico preciso, e que de forma alguma é inconcebível que tais interações, gradualmente repetidas e multiplicadas, possam criar ou definir uma organização na escala milimétrica ou centimétrica, por exemplo. É por êsse caminho que a embriologia moderna se orienta. É bastante provável que a noção de interações estereoespecíficas puramente *estáticas* se revele insuficiente para a interpretação do «campo» ou dos gradientes morfogenéticos. Será necessário enriquecê-la com hipóteses cinéticas, análogas talvez àquelas que permitem interpretar as interações alostéricas. De minha parte, porém, permaneço convencido de que só as propriedades associativas estereoespecíficas das proteínas poderão, em última análise, fornecer a chave dêsses fenômenos.

◈

Se analisarmos as funções catalíticas ou reguladoras ou epigenéticas das proteínas, seremos levados a reconhecer que tôdas elas repousam antes de tudo sôbre as propriedades associativas estereoespecíficas dessas moléculas.

estrutura primária e estrutura globular das proteínas

Segundo a concepção exposta neste capítulo como nos dois anteriores, tôdas as performances e tôdas as estruturas teleonômicas dos sêres vivos são, ao menos em princípio, analisáveis nesses têrmos. Se essa concepção é adequada — e não há razão para duvidar de que o seja — resta, portanto, para resolver o paradoxo da teleonomia, explicitar o modo de formação e os mecanismos de evolução das estruturas associativas estereoespecíficas das proteínas. Aqui, só abordarei o modo de formação dessas estruturas, re-

servando a questão de sua evolução para os próximos capítulos. Espero mostrar que a análise detalhada dessas estruturas moleculares, as quais, em suma, encerram o «segrêdo» último da teleonomia, conduz a conclusões profundamente significantes.

Para começar, é preciso lembrar que a estrutura no espaço de uma proteína globular (cf. Apêndices, p. 201) é determinada por dois tipos de ligações químicas:

1. A estrutura dita «primária» é constituída por uma seqüência topològicamente linear de radicais aminoácidos associados por ligações covalentes. Por si mesmas, essas ligações definem, portanto, uma estrutura fibrosa, extremamente flexível, e capaz de tomar, em teoria, uma quase infinidade de conformações.

2. Mas a conformação dita «nativa» de uma proteína globular é, além disso, estabilizada por um grande número de interações não-covalentes que associam entre si mesmos os radicais de aminoácidos distribuídos ao longo da seqüência covalente topològicamente linear. Disso resulta que a fibra polipeptídica se dobra sôbre si mesma de modo muito complexo, numa bolota pseudoglobular, compacta. Em definitivo, são essas dobras complexas que determinam a estrutura no espaço da molécula, inclusive a forma precisa das áreas de associação estereoespecífica, pela qual a molécula exerce sua função de reconhecimento. Portanto, como vimos, é a soma ou, antes, a cooperação de um grande número de interações não-covalentes intramoleculares que estabilizam a estrutura funcional, aquela que permite que a proteína forme eletivamente complexos estereoespecíficos (igualmente não-covalentes) com outras moléculas.

A questão que nos interessa aqui é a ontogênese, o modo de formação dessa conformação particular, única, a que está prêsa a função cognitiva de uma proteína. Durante muito tempo foi possível crer que,

em virtude da complexidade mesma dessas estruturas e do fato de que elas são estabilizadas por interações não-covalentes, individualmente muito lábeis, um grande número de conformações distintas seriam acessíveis a uma mesma fibra polipeptídica. No entanto, todo um conjunto de observações devia mostrar que, de fato, uma mesma espécie química (definida pela estrutura primária) só existe no estado nativo, nas condições fisiològicamente normais, numa única conformação (ou, quando muito, num número muito reduzido de estados distintos, pouco distantes uns dos outros, como é o caso das proteínas alostéricas). Conformação definida de modo bastante preciso, como prova o fato de que os cristais de proteínas fornecem excelentes imagens de difrações de raios X, o que significa que a posição da grande maioria dos milhares de átomos compondo uma molécula é fixada aproximadamente em algumas frações de Angström. Observemos, aliás, que tanto essa uniformidade como essa precisão de estrutura são a condição mesma da especificidade de associação, propriedade biològicamente essencial das proteínas globulares.

formação das estruturas globulares

Atualmente o mecanismo de formação dessas estruturas é muito bem compreendido em seu princípio. Com efeito, sabemos:

1. que o determinismo genético das estruturas de proteínas *especifica exclusivamente a seqüência* dos radicais aminoácidos correspondendo a uma proteína dada;

2. que a fibra polipeptídica assim sintetizada dobra-se espontâneamente e de modo *autônomo* para culminar na conformação pseudoglobular, funcional.

Assim, entre os milhares de conformações dobradas, em princípio acessíveis à fibra polipeptídica, apenas uma é, de fato, escolhida e realizada. Trata-se, como vemos, de um verdadeiro processo epigenético,

no nível mais simples possível, o de uma macromolécula isolada. À fibra desdobrada, milhares de conformações são acessíveis. Por outro lado, ela é desprovida de tôda atividade biológica, sobretudo de tôda capacidade de reconhecimento estereoespecífico. À forma dobrada, pelo contrário, apenas um estado é acessível, estado que, em conseqüência, corresponde a um nível de ordem muito superior. É a êsse estado, exclusivamente, que está prêsa a atividade funcional.

A explicação dêsse pequeno milagre de epigênese molecular é relativamente simples em seu princípio.

1. No meio fisiològicamente normal, isto é, em fase aquosa, as formas dobradas da proteína são termodinâmicamente mais estáveis que as formas desdobradas. A razão dêsse ganho de estabilidade é muito interessante; importa precisá-la. Entre os radicais aminoácidos constituindo a seqüência, mais ou menos a metade é «hidrófoba», isto é, comporta-se como o azeite na água: tende a reunir-se, liberando as moléculas de água imobilizadas a seu contacto. Por isso a proteína adquire uma estrutura compacta, imobilizando, por contacto recíproco, os radicais que compõem a fibra; donde, para as proteínas, um ganho de ordem (ou de neguentropia) compensado pela expulsão de moléculas de água que, *liberadas,* vão aumentar a desordem, isto é, a entropia do sistema.

2. Entre as diferentes estruturas dobradas acessíveis a uma seqüência polipeptídica dada, uma só, ou um pequeno número delas, permite a realização da estrutura mais compacta possível. Essa estrutura, portanto, será privilegiada às custas de tôdas as outras. Digamos, simplificando um pouco, que será «escolhida» aquela que corresponde à expulsão de um máximo de moléculas de água. Evidentemente, é da posição relativa, isto é, da seqüência dos radicais aminoácidos na fibra (a começar pelos radicais hidrófobos) que dependerão as diferentes possibilidades

de realização de estruturas compactas. A conformação globular particular a uma determinada proteína, da qual depende sua atividade funcional, será, portanto e de fato, *imposta* pela seqüência dos radicais na fibra. No entanto, e êste é o ponto importante, a quantidade de informação que será necessária para especificar inteiramente a estrutura tridimensional de uma proteína é *muito maior* que a informação definida pela própria seqüência. Por exemplo, para um polipeptido de cem aminoácidos, a informação (H) necessária à definição da seqüência corresponderia mais ou menos a 2.000 bits ($H = \log_2 20^{100}$), ao passo que, para definir a estrutura tridimensional seria necessário, a êsse número, acrescentar ainda uma grande quantidade de informação, aliás dificilmente calculável (digamos pelo menos de 1.000 a 2.000 bits).

Por conseguinte, podemos ver uma contradição no fato de dizer que o genoma «define inteiramente» a função de uma proteína, ao passo que essa função está prêsa a uma estrutura tridimensional, cujo conteúdo informativo é *mais rico* que a contribuição diretamente trazida a essa estrutura pelo determinismo genético. Essa contradição não deixou de ser destacada por certos críticos da teoria biológica moderna. Em especial Elsässer, que precisamente vê no desenvolvimento epigenético das estruturas (macroscópicas) dos sêres vivos um fenômeno fìsicamente inexplicável em virtude do «enriquecimento sem causa» de que parece dar testemunho.

o falso paradoxo do «enriquecimento» epigenético

A objeção desaparece, tão logo examinamos em detalhe os mecanismos da epigênese molecular: o enriquecimento de informação correspondendo à formação da estrutura tridimensional provém de que a informação genética (representada pela seqüência) se exprime, de fato, em condições iniciais bem definidas (em fase aquosa, entre certos limites, estreitos, de

temperaturas, composição iônica, etc.), condições tais que, entre tôdas as estruturas possíveis, apenas uma é verdadeiramente realizável. Por conseguinte, as condições iniciais contribuem para a informação finalmente encerrada na estrutura globular, sem para tanto especificá-la, mas eliminando as outras estruturas possíveis, propondo assim ou, antes, impondo uma interpretação unívoca de uma mensagem *a priori* parcialmente equívoca.

No processo de estruturação de uma proteína globular, podemos portanto ver ao mesmo tempo a imagem microscópica e a fonte do desenvolvimento epigenético autônomo do próprio organismo. Desenvolvimento em que podemos reconhecer várias etapas ou níveis sucessivos:

1. Dobra das seqüências polipeptídicas para fornecer as estruturas globulares, providas das propriedades associativas estereoespecíficas.

2. Interações associativas entre proteínas (ou entre proteínas e alguns outros constituintes) para formar os organismos celulares.

3. Interações entre células, para constituir tecidos e órgãos.

4. Em tôdas essas etapas, coordenação e diferenciação das atividades químicas por interações de tipo alostérico.

Em cada uma dessas estruturas aparecem estruturas de ordem superior e funções novas que, resultando das interações espontâneas entre produtos da etapa precedente, revelam, como num fogo de artifício com vários estágios, as potencialidades latentes dos níveis anteriores. Todo o determinismo do fenômeno encontra sua fonte na informação genética representada pela soma das seqüências polipeptídicas interpretadas ou, mais exatamente, filtradas pelas condições iniciais.

A *última ratio* de tôdas as estruturas e performances teleonômicas dos sêres vivos, portanto, se encontra encerrada nas seqüências de radicais das fibras polipeptídicas, «embriões» dos demônios de Maxwell, biológicos, as proteínas globulares. Num sentido muito real, é nesse nível de organização química que jaz — se é que há um — o segrêdo da vida. Soubéssemos nós não apenas descrever tais seqüências, mas também enunciar a lei de reunião a que obedecem, e poderíamos dizer que o segrêdo foi devassado, a *última ratio* descoberta.

a última ratio das estruturas teleonômicas

A primeira seqüência completa de uma proteína globular foi descrita em 1952 por Sanger. Êste fato constitui ao mesmo tempo uma revelação e uma decepção. Nessa seqüência cuja estrutura sabíamos definir — portanto, as propriedades eletivas de uma proteína funcional (a insulina) — nenhuma regularidade, nenhuma singularidade, nenhuma restrição se revelavam. Contudo, ainda podíamos esperar que, na medida em que se acumulassem tais documentos, surgissem algumas leis gerais de reunião, como também certas correlações funcionais. Atualmente conhecemos centenas de seqüências, correspondendo a proteínas variadas extraídas dos mais diversos organismos. Dessas seqüências, e de sua comparação sistemática auxiliada por modernos meios de análise e de cálculo, hoje, podemos deduzir a lei geral: a do acaso. Para ser mais preciso: essas estruturas existem «ao acaso» no sentido em que, conhecendo exatamente a ordem de 199 resíduos numa proteína que compreende 200 dêles, é impossível formular uma regra, teórica ou empírica, que permita prever a natureza do único resíduo ainda não identificado pela análise.

Dizer da seqüência dos aminoácidos num polipeptido que ela existe «ao acaso» de forma alguma signi-

fica, é preciso insistir, uma confissão de ignorância, mas exprime uma constatação de fato: a freqüência média, por exemplo, com a qual o resíduo é seguido por aquêle outro nos polipeptidos é igual ao *produto* das freqüências médias de cada um dos dois resíduos nas proteínas em geral. Podemos ilustrar isso de outro modo. Suponhamos um jôgo de cartas, cada uma levando o nome de um aminoácido. Seja um baralho de duzentas cartas, no qual a proporção *média* de cada aminoácido seria respeitada. Depois de embaralharmos as cartas, obteríamos seqüências ao acaso, que nada permitiria distinguir das seqüências efetivamente observadas nos polipeptidos naturais.

Mas se, neste sentido, tôda estrutura primária de proteína nos aparece como o puro produto de uma escolha feita ao acaso, em cada elo, entre os vinte resíduos disponíveis, pelo contrário, num outro sentido, tão significante quanto o primeiro, devemos reconhecer que essa seqüência *atual* de forma alguma foi sintetizada ao acaso, pois essa mesma ordem é reproduzida, pràticamente sem êrro, em tôdas as moléculas da proteína considerada. Não fôsse assim, seria de fato impossível estabelecer pela análise química a seqüência de uma população de moléculas.

Portanto, devemos admitir que a seqüência «ao acaso» de cada proteína é, de fato, produzida, milhares ou milhões de vêzes, em cada organismo, cada célula, em cada geração, por um mecanismo de alta fidelidade que garante a invariância das estruturas.

a interpretação da mensagem

Atualmente conhecemos não só o princípio, mas também a maioria dos componentes dêsse mecanismo. Voltaremos a isso num próximo capítulo. Não é necessário conhecer os detalhes dêsse mecanismo para compreender a significação profunda da misteriosa mensagem constituída pela seqüência dos radicais numa fibra polipeptídica. Mensagem que, por todos os

critérios possíveis, parece ter sido escrita ao acaso. Mensagem, porém, carregada de um sentido que se revela nas interações discriminativas, funcionais, diretamente teleonômicas da estrutura globular, tradução em três dimensões da seqüência linear. Uma proteína globular já é, em escala molecular, uma verdadeira máquina por suas propriedades funcionais, mas não, vemos agora, por sua estrutura fundamental, onde só se discerne o jôgo de combinações cegas. O acaso é captado, conservado, reproduzido pela maquinaria da invariância e assim convertido em ordem, regra, necessidade. De um jôgo *totalmente* cego, tudo, por definição, pode sair, inclusive a visão mesma. Na ontogênese de uma proteína funcional, refletem-se a origem e a filiação de tôda a biosfera, e a fonte última do projeto que os sêres vivos representam, perseguem e realizam, revela-se nessa mensagem, nesse texto preciso, fiel, mas essencialmente indecifrável, que a estrutura primária constitui. Indecifrável porque, antes de exprimir a função fisiològicamente necessária que êle realiza de modo espontâneo, só revela em sua estrutura o acaso de sua origem. Justamente, porém, tal é para nós o sentido mais profundo dessa mensagem que nos chega do fundo das idades.

VI. INVARIÂNCIA E PERTURBAÇÕES

Desde o seu nascimento, nas ilhas iônicas, há quase três mil anos, o pensamento ocidental estêve dividido em duas atitudes aparentemente opostas. Segundo uma dessas filosofias a realidade autêntica e última do universo só pode residir em formas perfeitamente imutáveis, invariantes por essência. Segundo a outra, pelo contrário, é no movimento e na evolução que reside a única realidade do universo.

Platão e Heráclito

De Platão a Whitehead, e de Heráclito a Hegel e Marx, é evidente que essas epistemologias metafísicas sempre estiveram ìntimamente associadas às idéias morais e políticas de seus autores. Êsses edifícios ideológicos, apresentados como *a priori,* na realidade eram construções *a posteriori* destinadas a justificar uma teoria ético-política preconcebida.[1]

O único *a priori* para a ciência é o postulado de objetividade que lhe poupa, ou melhor, lhe proíbe participar dêste debate. A ciência estuda a evolução, seja a do universo ou a dos sistemas que êle contém, tais como a biosfera, inclusive o homem. Sabemos que

[1] Cf. Popper: *The Open Society and Its Enemies,* Routledge, London (1945).

todo fenômeno, todo acontecimento, todo conhecimento, implicam interações por si mesmas geradoras de modificações nos componentes do sistema. Essa noção, porém, de forma alguma é incompatível com a idéia de que existem entidades imutáveis na estrutura do universo. Muito pelo contrário: a estratégia fundamental da ciência na análise dos fenômenos é a descoberta dos invariantes. Tôda lei física, como aliás todo desenvolvimento matemático, especifica uma relação de invariância; as proposições mais fundamentais da ciência são postulados universais de conservação. É fácil ver, em qualquer exemplo que queiramos escolher, que, de fato, é impossível analisar um determinado fenômeno em têrmos diferentes daqueles dos invariantes conservados por êsse fenômeno. O exemplo mais claro talvez seja o da formulação das leis da cinética, que *exigiu* a invenção das equações diferenciais, isto é, de um meio de definir a mudança em têrmos daquilo que permanece imutável.

Sem dúvida, podemos perguntar-nos se tôdas as invariâncias, conservações e simetrias que constituem a trama do discurso científico, não são ficções substituídas à realidade, para dela fornecer uma imagem operacional, de um lado esvaziada de substância, mas tornada acessível a uma lógica, ela mesma fundada num princípio de identidade puramente abstrato, talvez «convencional». Convenção, porém, que a razão humana parece incapaz de dispensar.

Menciono aqui êste problema clássico para observar que seu estatuto foi profundamente modificado pela revolução quântica. Na ciência clássica o princípio de identidade não figura como postulado físico. Nela, tal princípio só é empregado enquanto operação lógica, sem que seja necessário supor que corresponde a uma realidade substancial. O caso é completamente diferente em física moderna, da qual um dos postulados mais fundamentais é a identidade *absoluta*

de dois átomos que se encontram no mesmo estado quântico.[2] Daí também o valor de representação absoluta, não perfectível, conferido às simetrias atômicas e moleculares em teoria quântica. Portanto, parece que hoje não podemos mais restringir o princípio de identidade ao estatuto de simples regra para a conduta do espírito: devemos admitir que, pelo menos em escala quântica, êsse princípio exprime uma realidade substancial. De qualquer modo, há e permanecerá na ciência um elemento platônico que não poderíamos afastar sem arruiná-la. Na diversidade infinita dos fenômenos singulares, a ciência só pode procurar os invariantes.

◈

os invariantes anatômicos

Havia uma ambição «platônica» na pesquisa sistemática dos invariantes anatômicos, à qual se consagraram os grandes naturalistas do século XIX, depois de Cuvier (e Goethe). Talvez os biologistas modernos nem sempre façam justiça ao gênio dos homens que, sob a espantosa variedade das morfologias e dos modos de vida dos sêres vivos, souberam reconhecer senão uma «forma» única, pelo menos um número finito de planos anatômicos, cada um dêles invariante no interior do grupo por êle caracterizado. Sem dúvida, não era muito difícil ver que as focas são mamíferos muito próximos dos carnívoros terrestres. Era muito mais difícil discernir um mesmo plano fundamental na anatomia dos tunicados e na dos vertebrados, para agrupá-los na ramificação dos cordados. Mais difícil ainda era perceber afinidades entre os cordados e os equinodermes. Contudo, não há dúvida, a bioquímica confirma, de que os ouriços são

[2] V. Weisskopf, in *Symmetry and Function in biological systems at the macromolecular level*, Engström and Strandberg Ed., Nobel Symposium N° 11, p. 28, Wiley and Sons, New York (1969).

para nós parentes bem mais próximos do que os membros de certos grupos muito mais evoluídos, como os cefalópodes por exemplo.

Graças a êsses imensos trabalhos na pesquisa dos planos fundamentais de organização, foi construído o edifício da zoologia clássica e da paleontologia, monumento cuja estrutura postula e justifica ao mesmo tempo a teoria da evolução.

Contudo, permanecia a diversidade dos tipos, e era indispensável reconhecer que numerosos planos de organizações macroscópicas, radicalmente diferentes uns dos outros, coexistiam na biosfera. Entre uma alga azul, um infusório, um polvo e o homem, por exemplo, o que havia de comum? A descoberta da célula e a teoria celular permitiam entrever uma nova unidade sob essa diversidade. No entanto, foi preciso esperar os desenvolvimentos da bioquímica, principalmente durante o segundo quarto do século XX, para que se revelasse inteiramente a profunda e rigorosa unidade, em escala microscópica, de todo o mundo vivo. Hoje, sabemos que, da Bactéria ao Homem, a maquinaria química é essencialmente a mesma, tanto em suas estruturas quanto por seu funcionamento.

os invariantes químicos

1. Em sua estrutura: todos os sêres vivos, sem exceção, são constituídos pelas mesmas duas classes principais de macromoléculas, proteínas e ácidos nucleicos. Além disso, essas macromoléculas, em todos os sêres vivos, são formadas pela reunião dos mesmos radicais, em número finito: vinte aminoácidos para as proteínas, quatro tipos de nucleótidos para os ácidos nucleicos.

2. Por seu funcionamento: as mesmas reações, ou melhor, seqüências de reações, são utilizadas em todos os organismos para as operações químicas essenciais: mobilização e reserva de potencial químico, biossíntese dos constituintes celulares.

É certo que, sôbre o tema central do metabolismo, se encontram numerosas variantes que correspondem a diversas adaptações funcionais. Quase sempre, porém, consistem em utilizações novas de seqüências metabólicas universais, primeiramente empregadas em outras funções. Por exemplo, a excreção do azôto se processa sob formas diferentes nos pássaros e nos mamíferos. Os primeiros excretam ácido úrico, os outros uréia. Ora, a via de síntese do ácido úrico nos pássaros é apenas uma modificação, ademais menor, da seqüência de reações que, em todos os organismos, sintetisa os nucleótidos ditos púricos (constituintes universais dos ácidos nucleicos). A síntese da uréia, nos mamíferos, é obtida graças a uma modificação de uma via metabólica também universal: aquela que culmina na síntese da arginina, ácido aminado presente em tôdas as proteínas. Multiplicaríamos fàcilmente os exemplos.

Foi aos biologistas de minha geração que se concedeu a revelação da quase identidade da química celular em tôda a biosfera. Desde 1950, estava adquirida a certeza dêsse fato, e cada nova publicação trazia a sua confirmação. As esperanças dos «platônicos» mais convictos estavam mais do que plenamente realizadas.

Contudo, essa revelação gradual da «forma» universal da química celular parecia tornar ainda mais agudo e paradoxal o problema da invariância reprodutiva. Se quìmicamente os constituintes são os mesmos, e sintetizados pelas mesmas vias em todos os sêres vivos, qual é a fonte de sua prodigiosa diversidade morfológica e fisiológica? Mais ainda, como cada espécie, utilizando os mesmos materiais e as mesmas transformações químicas que tôdas as outras, mantém invariante, através das gerações, a norma estrutural que a caracteriza e a diferencia de qualquer outra?

Possuímos hoje a solução dêsse problema. Os constituintes universais que, de uma parte, são os nucleótidos e, de outra, os ácidos aminados, são o equivalente lógico de um alfabeto em que seria escrita a estrutura, portanto, as funções associativas específicas das proteínas. Nesse alfabeto, por conseguinte, pode ser escrita tôda a diversidade das estruturas e das performances que a biosfera contém. Ademais, é a reprodução *ne varietur*, em cada geração celular do texto escrito sob forma de seqüência de nucleótidos no ADN, que garante a invariância da espécie.

o ADN como invariante fundamental

O invariante biológico fundamental é o ADN. É por isso que a definição, por Mendel, do gene como portador invariante dos traços hereditários, sua identificação química por Avery (confirmada por Hershey) e a elucidação, por Watson e Crick, das bases estruturais de sua invariância replicativa, constituem as descobertas mais fundamentais jamais feitas em biologia. A isso é preciso acrescentar a teoria da evolução seletiva que, aliás, só podia encontrar sua significação plena e sua certeza, graças a essas descobertas.

A estrutura do ADN, como essa estrutura dá a conhecer sua capacidade de ditar uma cópia exata da seqüência de nucleótidos que especifica um gene, a maquinaria química que traduz a seqüência de nucleótidos de um segmento de ADN numa seqüência de ácidos aminados numa proteína, todos êsses fatos e noções foram larga e excelentemente expostos para os não especialistas. Aqui não os lembraremos em detalhe.[3] O esquema abaixo, que simboliza apenas a essência dos dois processos de *replicação* e *tradução*, bastará como base para a presente discussão:

[3] Ver Apêndices, no final do livro.

ADN	*Duas* seqüências duplas idênticas
	(replicação)
ADN	Seqüência dupla de nucleótidos complementares
	(tradução)
Polipeptido	Seqüência linear de radicais de aminoácidos
	(expressão)
Proteína globular	Dobra da seqüência linear de aminoácidos

O primeiro ponto que importa esclarecer é que o «segrêdo» da replicação *ne varietur* do ADN reside na *complementariedade estereoquímica* do complexo *não-covalente* constituído pelas duas fibras associadas na molécula. Portanto, vemos que o princípio fundamental da estereoespecificidade associativa, que dá a conhecer as propriedades discriminativas das proteínas, também está na base das propriedades replicativas do ADN. Mas no ADN a estrutura topológica do complexo é muito mais simples que nos complexos de proteínas, e é isso que permite o funcionamento da mecânica da replicação. Com efeito, a estrutura estereoquímica de uma das duas fibras é inteiramente definida pela seqüência (a sucessão) dos radicais que a compõem, porque *cada um* dos quatro radicais não é individualmente acasalável (em virtude de restrições estéricas) senão com *apenas um* dos três outros. Disso resulta que:

1. a estrutura estérica do complexo pode ser inteiramente representada em *duas dimensões*, das quais uma, finita, contém em cada ponto um par de nucleótidos mùtuamente complementares, enquanto que a outra contém uma seqüência potencialmente infinita dêsses pares;

2. uma (não importa qual) das duas fibras sendo dada, a seqüência complementar gradativamente poderá ser reconstituída por sucessivas adições de nucleótidos, cada um sendo «escolhido» por seu parceiro predestinado. É assim que cada uma das duas fibras dita a estrutura de sua complementar para reconstituir o complexo todo.

A estrutura global da molécula de ADN é a mais simples e a mais provável que pode ser adotada por uma macromolécula constituída pela polimerização linear de radicais semelhantes: a de uma fibra helicoidal, definida por duas operações de simetria, uma translação e uma rotação. Portanto, podemos considerá-la como um cristal fibrilhoso, em virtude da regularidade da estrutura de conjunto. Se, porém, levarmos em conta a estrutura fina, devemos dizer que se trata de um cristal *aperiódico*, pois a seqüência dos pares de bases aí é não repetitiva. Importa sublinhar que a seqüência é inteiramente «livre» no sentido em que, nela, nenhuma restrição é imposta pela estrutura de conjunto, que pode suportar tôdas as seqüências possíveis.

Como acabamos de ver, a formação dessa estrutura é estreitamente comparável à de um cristal. Cada elemento de seqüência numa das duas fibras desempenha o papel de um germe cristalino, o qual escolhe e orienta as moléculas que espontâneamente vêm associar-se a êle, garantindo o crescimento do cristal. Duas fibras complementares, artificialmente dissociadas, reformam *espontâneamente* o complexo específico, cada uma escolhendo, quase sem erros, sua parceira entre milhares ou milhões de outras seqüências.

No entanto, o crescimento de cada fibra implica a formação de ligações *covalentes* que associam seqüencialmente os nucleótidos entre si. A formação dessas ligações não pode ocorrer espontâneamente: são necessários uma fonte de potencial e um catali-

sador. A fonte de potencial é representada por certas ligações, presentes nos próprios nucleótidos, e que são rompidas no curso da reação de condensação. Esta é catalisada por uma enzima, o ADN-polimerase. Essa enzima é «indiferente» à seqüência especificada pela fibra preexistente. Aliás, foi provado que a condensação de mononucleótidos ativada por catalisadores não enzimáticos é efetivamente dirigida por seu acasalamento espontâneo com um polinucleótido preexistente.[4] Contudo, é certo que, se a enzima não especifica a seqüência, contribui para a precisão da cópia complementar, isto é, para a fidelidade da transferência de informação. Fidelidade extrema, como prova a experiência, mas que, tratando-se de um processo microscópico, não poderia ser absoluta. Logo voltaremos a êste ponto capital.

◈

a tradução do código

O mecanismo da *tradução* da seqüência de nucleótidos em seqüência de ácidos aminados é muito mais complicado em seu próprio princípio que o da *replicação*. Como acabamos de ver, êste último processo se explica por interações estereoespecíficas *diretas* entre uma seqüência polinucleotídica servindo de matriz e os nucleótidos que vêm associar-se a ela. Também na tradução, são interações estereoespecíficas não-covalentes que garantem a transferência de informação. Mas essas interações diretrizes compreendem várias etapas sucessivas, pondo em funcionamento vários constituintes, cada um dos quais reconhece exclusivamente seu parceiro funcional imediato. Os constituintes que intervêm no começo dessa cadeia de transferência de informação, ignoram totalmente «o que se passa» na outra extremidade. De sorte que,

[4] L. Orgel, *Journal of Molecular Biology*, 38, pp. 381-393 (1968).

se é verdade que o código genético é escrito numa linguagem estereoquímica de que cada letra é constituída por uma seqüência de três nucleótidos (um triplé) no ADN, especificando um ácido aminado (entre vinte) no polipeptido, não existe nenhuma relação estérica direta entre o triplé codificante e o ácido aminado codificado.

Isso acarreta uma conclusão muito importante, isto é, que êsse código, universal na biosfera, parece quìmicamente *arbitrário*, no sentido, em que a transferência de informação poderia muito bem ocorrer segundo uma *outra* convenção.[5] Aliás, conhecemos mutações que, alterando a estrutura de certos componentes do mecanismo de tradução, modificam por isso mesmo a interpretação de certos *triplés* e cometem, portanto (em relação à convenção reinante), erros muito prejudiciais ao organismo.

O aspecto muito mecânico e mesmo «tecnológico» do processo de tradução merece ser destacado. As interações sucessivas dos diferentes componentes intervindo em cada etapa para chegar a um polipeptido em via de reunião, resíduo por resíduo, na superfície de um constituinte (o ribossomo) comparável a uma máquina-utensílio que faz avançar entalhe por entalhe uma peça em vias de ser modelada, tudo isso faz pensar irresistìvelmente numa cadeia de produção numa fábrica de mecânica.

No final das contas, no organismo normal, essa mecânica microscópica de precisão confere ao processo de tradução uma fidelidade notável. Sem dúvida há erros, mas tão raros que, sôbre sua freqüência normal média, não possuímos nenhuma estatística utilizável. Como o código de forma alguma é ambíguo (para a tradução do ADN em proteínas), segue-se que a seqüência dos nucleótidos num segmento de ADN define inteiramente a seqüência dos ácidos aminados no polipeptido correspondente. Como, além disso, conforme já vimos (capítulo V), a seqüência do polipeptido especifica inteiramente (em condições iniciais normais) a estrutura dobrada que êle adota uma vez constituído, a «interpretação» estrutural e, portanto, funcional da informação genética é unívoca, rigorosa. Nenhuma contribuição suplementar de informação (que não genética) é necessária, nem mesmo parece possível, já que o mecanismo, tal como o conhecemos, não lhe dá lugar. E, na medida em que tôdas as estruturas e performances dos organismos são a resultante das estruturas e atividades das proteínas que o compõem, devemos considerar que o organismo todo constitui a expressão epigenética última da própria mensagem genética.

[5] Voltaremos a êste ponto no capítulo VIII.

irreversibilidade da tradução

Enfim, devemos acrescentar, e trata-se de um ponto de grande importância, que *o mecanismo da tradução é estritamente irreversível.* Nunca foi observado, nem aliás é concebível, que uma «informação» seja transferida no sentido inverso, isto é, da proteína para o ADN. Essa noção repousa sôbre um conjunto de observações tão completas e tão seguras, hoje, e suas conseqüências sobretudo em teoria da evolução são tão importantes, que devemos considerá-las como um dos princípios fundamentais da biologia moderna. Com efeito, segue-se que não há mecanismo *possível* pelo qual a estrutura e as performances de uma proteína possam ser modificadas e essas modificações transmitidas, ainda que parcialmente, à descendência, se não fôr como conseqüência de uma alteração das instruções representadas por um segmento de seqüência do ADN. Ao passo que, inversamente, não existe nenhum mecanismo concebível pelo qual uma instrução ou informação qualquer possa ser transferida para o ADN.

O sistema todo, portanto, é total e intensamente conservador, fechado em si mesmo, absolutamente in-

capaz de receber qualquer ensinamento do mundo exterior. Como vemos, êsse sistema, por suas propriedades, por seu funcionamento de relojoaria microscópica que estabelece entre ADN e proteína, como também entre organismo e meio, relações num sentido único, desafia tôda descrição «dialética». Êle é profundamente cartesiano e não hegeliano: a célula é uma *máquina*.

Portanto, pode parecer que, por sua própria estrutura, êsse sistema deva opor-se a tôda mudança, a tôda evolução. Ninguém duvida de que não é bem assim, e encontraríamos aí a explicação[6] de um fato na verdade muito mais paradoxal do que a própria evolução, isto é, a prodigiosa estabilidade de certas espécies que souberam reproduzir-se sem modificações apreciáveis desde centenas de milhões de anos.

◈

A física, porém, nos ensina que (exceto no zero absoluto, limite inacessível) nenhuma entidade microscópica pode deixar de sofrer perturbações de ordem quântica, cuja acumulação, no interior de um sistema macroscópico, alterará sua estrutura, gradual embora inevitàvelmente.

Os sêres vivos, apesar da perfeição conservadora da maquinaria que garante a fidelidade da tradução, não escapam a essa lei. A senescência e a morte dos organismos pluricelulares se explicam, ao menos em parte, pela acumulação de erros acidentais de tradução que, alterando sobretudo alguns dos componentes responsáveis pela fidelidade da própria tradução, aumentam a freqüência dêsses erros que, pouco a pouco e inexoràvelmente, degradam a estrutura dêsses organismos.[7]

[6] Explicação parcial, v. p. 138s.

[7] Orgel, L. E., *Proceedings of the National Academy of Science*, 49, p. 517 (1963).

O mecanismo da replicação também não saberia como escapar a tôda perturbação, a todo acidente, sem violar as leis da física. Pelo menos, algumas dessas perturbações acarretarão modificações mais ou menos discretas de certos elementos de seqüência. Erros de transcrição que, em virtude da fidelidade cega do mecanismo, serão, exceto em poucas outras perturbações, automàticamente retranscritos. Também serão fielmente traduzidos numa alteração da seqüência dos aminoácidos no polipeptido correspondendo ao segmento do ADN, no qual a mutação se produzirá. Contudo, só uma vez êsse polipeptido parcialmente nôvo, dobrado sôbre si mesmo, se revelará a «significação» funcional da mutação.

perturbações microscópicas

Entre as pesquisas modernas em biologia, algumas das mais belas por sua metodologia, como das mais profundamente significantes, constituem o que chamamos a genética molecular (Benzer, Yanofsky, Brenner e Crick). Em particular, essas pesquisas permitiram analisar os diferentes tipos de alterações acidentais discretas que pode sofrer uma seqüência de polinucleótidos na fibra dupla do ADN. Assim, identificamos diversas mutações como devidas a:

1. substituição de um único par de nucleótidos por um outro;
2. deleção ou adição de um ou vários pares de nucleótidos;
3. diversos tipos de «mástiques» alterando o texto genético por inversão, repetição, translocação e fusão de segmentos de seqüência mais ou menos longos.[8]

Dizemos que essas alterações são acidentais, que ocorrem ao acaso. E, porque elas constituem a *única* fonte possível de modificações do texto genético, *único* depositário, por sua vez, das estruturas hereditárias do organismo, segue-se necessàriamente que *apenas* o acaso está na fonte de tôda novidade, de tôda criação

[8] Cf. Apêndices, no final.

na biosfera. O acaso puro, o só acaso, liberdade absoluta, mas cega, na raiz mesma do prodigioso edifício da evolução: hoje, essa noção central da biologia moderna não é mais uma hipótese entre outras possíveis, mais ou menos concebíveis. É a única hipótese concebível, como também a única compatível com os fatos de observação e de experiência. E nada permite supor (ou esperar) que nossas concepções sôbre êsse ponto deverão ou mesmo poderão ser revistas.

Essa noção também é, de tôdas aquelas de tôdas as ciências, a mais destrutiva de todo antropocentrismo, a mais intuitivamente inaceitável para os sêres intensamente teleonômicos que somos. É, portanto, a noção ou antes o espectro que a qualquer preço tôdas as ideologias vitalistas ou animistas devem destruir. Por isso é muito importante precisar em que sentido exato a palavra acaso pode e deve ser empregada, tratando-se das mutações como fonte da evolução. O conteúdo da noção de acaso não é simples e a própria palavra é empregada em situações muito diferentes. Será melhor tomarmos alguns exemplos.

incerteza operacional e incerteza essencial

Assim empregamos essa palavra a propósito do jôgo de dados, ou da roleta, e utilizamos o cálculo das probabilidades para prever o resultado de uma partida. Contudo, êsses jogos puramente mecânicos e *macroscópicos* só são «de azar»[9] em virtude da impossibilidade prática de dirigir com precisão suficiente o lance do dado ou da bola. Evidentemente, é concebível um mecanismo de lançamento de altíssima precisão, mecanismo que permitiria eliminar em grande parte a incerteza do resultado. Dizemos que na roleta a incerteza é puramente operacional, mas não essen-

[9] Traduzimos a expressão *jeux de hasard* por sua correspondente exata, em português, "jogos de azar", muito embora se perdesse o trocadilho feito pelo autor. É que, em francês, *hasard* tanto designa "acaso", como "azar". — (Nota dos tradutores).

cial. Assim também, como veremos fàcilmente, em relação à teoria de numerosos fenômenos onde empregamos a noção de acaso e o cálculo das probabilidades por razões puramente metodológicas.

Em outras situações, porém, a noção de acaso assume uma significação essencial e não mais simplesmente operacional. É o caso, por exemplo, daquilo que podemos chamar as «coincidências absolutas», isto é, aquelas que resultam da intersecção de duas cadeias causais totalmente independentes uma da outra. Suponhamos, por exemplo, que o Dr. Dupont seja chamado com urgência para visitar um nôvo doente, enquanto o bombeiro Dubois trabalha no consêrto urgente no teto do prédio vizinho. Logo que o Dr. Dupont passa junto do prédio, o bombeiro, por inadvertência, deixa cair seu martelo, cuja trajetória (determinista) vai interceptar a do médico, que morre com o crânio esmagado. Dizemos que êle não teve sorte. Que outro têrmo empregar para um acontecimento como êsse, imprevisível por sua própria natureza? Aqui, o acaso evidentemente deve ser considerado como essencial, inerente à independência total das duas séries de acontecimentos cujo encontro provoca o acidente.

Ora, entre os acontecimentos que podem provocar ou permitir um êrro na *replicação* da mensagem genética e suas conseqüências funcionais, também há independência total. O efeito funcional depende da estrutura, do papel atual da proteína modificada, das interações que ela garante, das reações que ela catalisa. Tudo, coisas que nada têm a ver com o próprio acontecimento mutacional, nem com suas causas imediatas ou remotas, e, aliás, qualquer que seja a natureza, determinista ou não, dessas «causas».

Existe, enfim, na escala microscópica uma fonte de incerteza mais radical ainda, enraizada na estrutura quântica da própria matéria. Ora, uma mutação

é em si um acontecimento microscópico, quântico, ao qual, em conseqüência, se aplica o princípio de incerteza. Acontecimento, portanto, *essencialmente* imprevisível por sua própria natureza.

Como sabemos, o princípio de incerteza jamais foi inteiramente aceito por alguns dos maiores físicos modernos, a começar por Einstein que dizia não poder admitir que «Deus joga dados». Algumas escolas quiseram ver nesse princípio apenas uma noção puramente operacional, mas não essencial. Contudo, todos os esforços feitos para substituir a teoria quântica por uma estrutura mais «fina», de onde a incerteza tivesse desaparecido, resultaram em fracassos, e hoje muito poucos físicos parecem dispostos a acreditar que, algum dia, êsse princípio possa desaparecer de sua disciplina.

Seja como fôr, devemos destacar que, ainda que o princípio de incerteza devesse ser abandonado um dia, isso não deixaria de significar que entre o determinismo, mesmo que total, de uma mutação de seqüência no ADN e o de seus efeitos funcionais ao nível das interações da proteína, só poderíamos ver uma «coincidência absoluta» no sentido definido acima pela parábola do bombeiro e do médico. O acontecimento permaneceria, pois, no domínio do acaso «essencial». A menos que voltássemos ao universo de Laplace, de onde o acaso está excluído por definição e onde o médico, desde sempre, devia morrer sob o martelo do bombeiro.

a evolução: criação absoluta e não revelação

Bergson via na evolução a expressão de uma fôrça criadora, *absoluta* no sentido em que êle a supunha como tendendo a um fim que era a criação em si mesma e para si mesma. Nisso, êle difere radicalmente dos animistas (quer se trate de Engels, de Teilhard ou dos positivistas otimistas como Spencer) que vêem na evolução o majestoso processo de realização de um programa inscrito na própria trama do Universo. Para êles, por conseguinte, a evolução não é verdadeiramente criação, mas ùnicamente «revelação» das intenções até então inexprimidas da natureza. Daí, a tendência a ver no desenvolvimento embrionário uma emergência da mesma ordem que a emergência evolutiva. Segundo a teoria moderna, a noção de «revelação» se aplica ao desenvolvimento epigenético, mas não à emergência evolutiva que, graças precisamente ao fato de ter sua fonte no imprevisível essencial, é criadora de novidade *absoluta*. Essa convergência aparente entre os caminhos da metafísica bergsoniana e os da ciência seria ainda o efeito de uma pura coincidência? Talvez não: Bergson, artista e poeta que era, e ademais muito bem informado sôbre as ciências naturais de seu tempo, não podia deixar de ser sensível à deslumbrante riqueza da biosfera, à variedade prodigiosa das formas e dos comportamentos que nela se manifestam e que, com efeito, parecem testemunhar quase diretamente uma prodigalidade criadora inesgotável, liberta de tôda e qualquer pressão.

Mas onde Bergson via a prova mais manifesta de que o «princípio da vida» é a própria evolução, a biologia moderna, ao contrário, reconhece que tôdas as propriedades dos sêres vivos repousam sôbre um mecanismo fundamental de *conservação molecular*. Para a teoria moderna *a evolução de forma alguma é uma propriedade dos sêres vivos*, pois ela tem a sua raiz nas *imperfeições mesmas* do mecanismo conservador que constitui o único privilégio dêles. Por conseguinte, devemos dizer que a mesma fonte de perturbações, de «ruído», que num sistema não-vivo, isto é, não replicativo, aboliria pouco a pouco tôda estrutura, está na origem da evolução na biosfera, e dá a conhecer sua total liberdade criadora, graças a êsse conservatório do acaso, surdo ao ruído tanto quanto à música: a estrutura replicativa do ADN.

VII. EVOLUÇÃO

Os acontecimentos elementares iniciais que abrem o caminho da evolução para êsses sistemas intensamente conservadores, que são os sêres vivos, são microscópicos, fortuitos e sem nenhuma relação com os efeitos que podem acarretar no funcionamento teleonômico.

Mas, uma vez inscrito na estrutura do ADN, o acidente singular e, como tal, essencialmente imprevisível, vai ser mecânica e fielmente replicado e traduzido, isto é, ao mesmo tempo multiplicado e transposto para milhões ou bilhões de exemplares. Tirado do reino do puro acaso, êle entra no da necessidade, das certezas mais implacáveis. Pois é na escala macroscópica, a do organismo, que a seleção opera.

o acaso e a necessidade

Muitos espíritos eminentes ainda hoje parecem não poder aceitar nem mesmo compreender que, de uma fonte de ruído, a seleção tenha podido por si mesma tirar tôdas as músicas da biosfera. Com efeito, a seleção opera *sôbre* os produtos do acaso, e não se pode alimentar alhures; mas opera num domínio de exigências rigorosas do qual o acaso foi banido. Foi dessas exigências, e não do acaso, que a evolução tirou suas

orientações geralmente ascendentes, suas conquistas sucessivas, o desabrochamento ordenado, cuja imagem ela parece dar.

Alguns evolucionistas pós-darwinianos tenderam a propagar uma idéia empobrecida, ingênuamente feroz, da seleção natural, a idéia da pura e simples «luta pela vida», expressão que inclusive não é de Darwin, mas de Spencer. Os neodarwinianos do começo dêste século propuseram, ao contrário, uma concepção muito mais rica e mostraram, baseados em teorias quantitativas, que o fator decisivo da seleção não é a «luta pela vida», mas, no interior de uma espécie, a taxa diferencial de reprodução.

Os dados da biologia contemporânea permitem esclarecer e precisar ainda a noção de seleção. Temos sobretudo do poder, da complexidade e da coerência da rêde cibernética intracelular (mesmo nos organismos mais simples), uma idéia bastante clara, outrora ignorada, que nos permite compreender, bem melhor do que antes, que tôda «novidade», sob forma de uma alteração da estrutura de uma proteína, será antes de tudo testada por sua compatibilidade com o conjunto de um sistema já ligado por inumeráveis submissões, as quais comandam a execução do projeto do organismo. Portanto, as únicas mutações aceitáveis são aquelas que, em todo caso, não reduzem a coerência do aparelho teleonômico, mas antes o reforçam ainda na orientação já adotada ou, sem dúvida muito mais raramente, o enriquecem com possibilidades novas.

É o aparelho teleonômico, tal como funciona quando se exprime pela primeira vez uma mutação, que define as *condições iniciais* essenciais da admissão, temporária ou definitiva, ou da rejeição da tentativa nascida do acaso. É a performance teleonômica, expressão global das propriedades da rêde das interações construtivas e reguladoras, que é julgada pela

seleção. Por isso a própria evolução parece realizar um «projeto», o de prolongar e amplificar um «sonho» ancestral.

riqueza da fonte de acaso

Graças à perfeição conservadora do aparelho replicativo, tôda mutação, individualmente considerada, é um acontecimento muito raro. Nas bactérias, únicos organismos para os quais temos dados numerosos e precisos sôbre êsse assunto, podemos admitir que a probabilidade, para um determinado gene, de sofrer uma mutação que altera sensìvelmente as propriedades funcionais da proteína correspondente é da ordem de 10^{-6} a 10^{-8} por geração celular. Mas, em alguns mililitros de água, pode desenvolver-se uma população de vários bilhões de células. Em tal população temos, portanto, a certeza de que tôda mutação dada é representada em 10, 100 ou 1.000 exemplares. Também podemos estimar que o número total dos mutantes de tôdas as espécies nessa população é da ordem 10^5 a 10^6.

Conseqüentemente, na escala da população, a mutação de forma alguma é um fenômeno de exceção: é a regra. Ora, é no interior da população, e não de indivíduos isolados, que se exerce a pressão de seleção. É verdade que as populações de organismos superiores não atingem as dimensões daquelas das bactérias, mas:

1. o genoma de um organismo superior, mamífero por exemplo, contém mil vêzes mais genes que o de uma bactéria;

2. o número de gerações *celulares*, portanto, de chances de mutações, na linhagem germinal de óvulo para óvulo ou de espermatozóide para espermatozóide, é muito grande.

Talvez seja isso que explique que a taxa de algumas mutações no homem pareça relativamente elevada: da ordem de 10^{-4} a 10^{-5} por exemplo, para um certo nú-

mero de mutações que provocam doenças genéticas fàcilmente assimiláveis. Devemos notar ainda que as cifras aqui adiantadas não levam em conta mutações individualmente não reveláveis, mas que, associadas por recombinações sexuais, poderiam ter efeitos sensíveis. Provàvelmente tais mutações tiveram mais importância na evolução que aquelas cujos efeitos individuais são mais marcados.

No final das contas, podemos estimar que, na população humana atual (3×10^9), produz-se em cada geração mais ou menos de cem a mil bilhões de mutações. Adianto esta cifra apenas para dar uma idéia das dimensões do imenso reservatório de variabilidade fortuita constituído pelo genoma de uma espécie, malgrado, ainda uma vez, as propriedades ciumentamente conservadoras do mecanismo replicativo.

«paradoxo» da estabilidade das espécies

Consideradas as dimensões dessa enorme loteria e a rapidez com que nela funciona a natureza, não é a evolução, mas a estabilidade das «formas» que poderia parecer difìcilmente explicável, senão quase paradoxal. Sabemos que os planos de organização correspondendo às principais ramificações do reino animal estavam diferenciados desde o fim do Cambriano, isto é, há 500 milhões de anos. Sabemos também que mesmo algumas espécies não evoluíram sensìvelmente há centenas de milhões de anos. A língua, por exemplo, há 450 milhões de anos; quanto à ostra de 150 milhões de anos atrás, tinha a mesma aparência e, sem dúvida, o mesmo sabor da que se serve hoje nos restaurantes.[1] Enfim, podemos estimar que a célula «moderna», caracterizada por seu plano de organização química invariante (a começar pela estrutura do código genético e o mecanismo complicado da tradução), existe há dois ou três bilhões de anos, sem

[1] Simpson, *The Meaning of Evolution*, Yale University Press (1967).

dúvida já provida de poderosas rêdes cibernéticas moleculares garantindo sua coerência funcional.

A extraordinária estabilidade de algumas espécies, os bilhões de anos que a evolução cobre, a invariância do «plano» químico fundamental da célula, evidentemente só se podem explicar pela extrema coerência do sistema teleonômico que, portanto, desempenhou na evolução o papel ao mesmo tempo de guia e de freio, e só reteve, amplificou, integrou uma fração ínfima das chances que a roleta da natureza lhe oferecia em número astronômico.

O sistema replicativo, por sua vez, longe de poder eliminar as perturbações microscópicas de que inevitàvelmente é o objeto, ao contrário, só sabe registrá-las e oferecê-las, quase sempre de forma vã, ao filtro teleonômico cujas performances são julgadas, em última instância, pela seleção.

◈

Uma mutação simples, pontual, tal como a substituição de uma letra do código por outra no ADN, é reversível. A teoria prevê e a experiência prova isso. Mas tôda evolução sensível, como a diferenciação de duas espécies, mesmo muito vizinhas, resulta de um grande número de mutações independentes, sucessivamente acumuladas na espécie original, depois, sempre ao acaso, recombinadas graças ao «fluxo genético» promovido pela sexualidade. Tal fenômeno, em virtude do número dos acontecimentos independentes de que é o resultado, é estatìsticamente irreversível.

a irreversibilidade da evolução e o segundo princípio

Portanto, a evolução na biosfera é um processo necessàriamente irreversível, *que define uma direção no tempo;* direção que é *a mesma* que aquela que impõe a lei de crescimento da entropia, isto é, o segundo

princípio da termodinâmica. Não se trata de uma simples comparação. O segundo princípio se funda em considerações estatísticas *idênticas* às que estabelecem a irreversibilidade da evolução. De fato, *é legítimo considerar a irreversibilidade da evolução como uma expressão do segundo princípio na biosfera.* O segundo princípio, formulando apenas uma predição estatística, não exclui que um sistema macroscópico qualquer não possa, num movimento de amplitude muito fraca e por muito pouco tempo, remontar o declive da entropia, isto é, de algum modo remontar o curso do tempo. Nos sêres vivos precisamente êstes únicos e fugidios movimentos, captados e reproduzidos pelo mecanismo replicativo, foram retidos pela seleção. Neste sentido, a evolução seletiva, fundada na escolha dos raros e preciosos incidentes que, entre uma infinidade de outros, se acham contidos no imenso reservatório do acaso microscópico, constitui uma espécie de máquina de remontar o curso do tempo.

Não é surpreendente, mas muito natural, que os resultados obtidos por êsse mecanismo de remontar o curso do tempo — a tendência geral ascendente da evolução, o aperfeiçoamento e o enriquecimento do aparelho teleonômico — tenham parecido miraculosos a uns, paradoxais a outros, e a teoria moderna «darwiniana-molecular» da evolução ainda hoje seja considerada com suspeitas por alguns pensadores, filósofos ou mesmo biologistas.

origem dos anticorpos

Isso decorre, pelo menos em parte, da extrema dificuldade em conceber a inesgotável riqueza da fonte de acaso onde a seleção vai haurir. No entanto há uma notável ilustração disso no sistema de defesa do organismo pelos anticorpos. Os anticorpos são proteínas dotadas da propriedade de reconhecer, por associação estereoespecífica, substâncias estranhas ao

organismo e que o invadiram, bactérias ou vírus, por exemplo. Mas, como todos sabem, o anticorpo que reconhece eletivamente uma determinada substância, por exemplo, um «motivo estérico» particular a uma certa espécie bacteriana, só aparece no organismo (para aí permanecer durante algum tempo) depois que êste, pelo menos uma vez, o tenha «experimentado» (pela vacinação espontânea ou artificial). Além disso, demonstrou-se que o organismo é capaz de formar anticorpos adaptados a pràticamente qualquer motivo estérico natural ou sintético. Em relação a isso, as potencialidades parecem pràticamente infinitas. Durante muito tempo, pois, supomos que a fonte de informação para a síntese da estrutura associativa específica do anticorpo era o próprio antigene. Ora, hoje está estabelecido que a estrutura do anticorpo nada deve ao antigene: no interior do organismo, células especializadas, produzidas em grande número, possuem a propriedade — única — de «jogar na roleta» sôbre uma parte bem definida dos segmentos genéticos que determinam a estrutura dos anticorpos. O funcionamento exato dessa roleta genética especializada e ultra-rápida ainda não foi inteiramente elucidado. Contudo, é provável que intervenham tanto recombinações quanto mutações, ambas, em todo caso, se produzindo ao acaso, na ignorância total da estrutura do antigene. Em contrapartida, êste desempenha o papel de seletor, favorecendo diferencialmente a multiplicação das células que vão produzir um anticorpo capaz de reconhecê-lo.

É notável encontrar, na base de um dos fenômenos de adaptação molecular mais excelentemente preciso que se conhece, uma fonte ao acaso. Mas é claro (*a posteriori*) que sòmente tal fonte poderia ser bastante rica para oferecer ao organismo meios de defesa de algum modo «em tôdas as direções».

◈

o comportamento como orientador das pressões de seleção

Uma outra dificuldade para a teoria seletiva provém de que freqüentemente ela foi compreendida ou apresentada como apelando apenas para as condições do *meio exterior* como agentes da seleção. Eis uma concepção absolutamente errada. Pois as pressões de seleção que as condições externas exercem sôbre os organismos, em nenhum caso, são independentes das performances teleonômicas características da espécie. Organismos diferentes vivendo no mesmo «nicho» ecológico têm com as condições externas (inclusive os outros organismos) interações muito diferentes e específicas. São essas interações específicas, em parte «escolhidas» pelo próprio organismo, que determinam a natureza e a orientação da pressão de seleção que êle sofre. Dizemos que as «condições iniciais» de seleção que uma mutação nova encontra compreendem, ao mesmo tempo e de modo indissolúvel, o meio exterior e o conjunto das estruturas e performances do aparelho teleonômico.

É evidente que a parte das performances teleonômicas na orientação da seleção se torna cada vez maior na medida em que se eleva o nível de organização, portanto, de *autonomia* do organismo em relação ao meio. E isso até o ponto em que sem dúvida podemos considerar essa parte como decisiva nos organismos superiores, cuja sobrevivência e reprodução dependem antes de tudo de seu comportamento.

Além disso, é evidente que a escolha inicial dêste ou daquele tipo de comportamento freqüentemente poderá ter uma influência de longo alcance, não só para a espécie onde pela primeira vez se manifestará sob forma rudimentar, mas também em tôda a sua descendência, mesmo que ela deva constituir todo um grupo. Como sabemos, as grandes articulações da evolução foram devidas à invasão de espaços ecológicos novos. Se os vertebrados tetrápodes apareceram e puderam fornecer o maravilhoso desabrochamento que

representam os Anfíbios, os Répteis, os Pássaros e os Mamíferos, foi originàriamente porque um peixe primitivo «escolheu» ir explorar a terra onde, contudo, não se podia deslocar, a não ser saltitando desajeitadamente. Assim, êle criava, como conseqüência de uma modificação de comportamento, a pressão de seleção que devia desenvolver os membros poderosos dos tetrápodes. Entre os descendentes dêsse explorador audacioso, êsse Magalhães da evolução, alguns podem correr a mais de 70 km-h, outros sobem em árvores com espantosa agilidade, outros enfim conquistaram o ar, realizando, prolongando, amplificando de modo prodigioso o «sonho» do peixe ancestral.

O fato de, na evolução de alguns grupos, observarmos uma tendência geral, mantida durante milhões de anos, para o desenvolvimento aparentemente orientado de certos órgãos testemunha que a escolha inicial de um tipo de comportamento (por exemplo, diante da agressão de um depredador) arrasta a espécie para o caminho de um aperfeiçoamento contínuo das estruturas e performances que são o suporte dêsse comportamento. Foi porque os ancestrais do cavalo muito cedo escolheram viver na planície e fugir à aproximação de um depredador (e não tentar defender-se ou esconder-se), que a espécie moderna, na seqüência de uma longa evolução compreendendo múltiplos estádios de redução, atualmente caminha na ponta de um só dedo.

Sabemos que certos comportamentos muito precisos e complexos, como a etiquêta pré-nupcial dos pássaros, estão estreitamente vinculados a determinadas características morfológicas particularmente vistosas. É certo que a evolução dêsse comportamento e a do caráter anatômico, sôbre o qual êle repousa, caminharam lado a lado, um chamando e reforçando o outro sob a pressão da seleção sexual. Desde que começa a se desenvolver numa espécie, todo adôrno

associado ao êxito do coito só faz reforçar, confirmar, em suma, a pressão de seleção inicial e, conseqüentemente, favorece todo aperfeiçoamento dêsse mesmo adôrno. Portanto, é legítimo dizer que foi o instinto sexual, isto é, no final das contas, o *desejo* que criou as condições de seleção de algumas plumagens magníficas.[2]

Lamarck pensava que a própria tensão dos esforços desenvolvidos por um animal para «ter êxito na vida» de algum modo agia sôbre seu patrimônio hereditário, a fim de a êle se incorporar e modelar diretamente sua descendência. O imenso pescoço da girafa exprimia, em suma, a vontade constante de seus ancestrais de atingir os ramos mais altos das árvores. Hipótese hoje inaceitável; vemos, porém, que a seleção pura, operando sôbre os elementos do comportamento, chega ao resultado que Lamarck queria explicar: o estreito ajustamento das adaptações anatômicas e das performances específicas.

É nestes têrmos que devemos encarar o problema das pressões de seleção que orientaram a evolução do homem. Problema de interêsse excepcional, independentemente mesmo do fato de que se trata de nós e de que, discernindo melhor em sua evolução as raízes de nosso ser, talvez chegássemos a compreendê-lo melhor em sua natureza atual. Pois um observador imparcial, um marciano por exemplo, sem dúvida deveria reconhecer que o desenvolvimento da performance específica do homem, a linguagem simbólica, acontecimento único na biosfera, abria o caminho para uma outra evolução, criadora de um nôvo reino, o da cultura, das idéias, do conhecimento.

[2] Cf. N. Tinbergen, *Social Behavior in Animals*, Methuen, London (1953).

a linguagem e a evolução do homem

Acontecimento único: os lingüistas modernos insistiram no fato de que a linguagem simbólica do homem é absolutamente irredutível aos meios de comunicação muito diferentes (auditivos, tácteis, visuais ou outros) empregados pelos animais. Sem dúvida, uma atitude justificada. Mas daí a afirmar que a descontinuidade na evolução foi absoluta, que *desde a origem* a linguagem humana não devia estritamente nada, por exemplo, a um sistema de chamados e advertências variados, como aquêles que os grandes macacos trocam entre si, parece-me um passo difícil de dar e, em todo caso, uma hipótese inútil.

O cérebro dos animais indubitàvelmente é capaz não só de registrar informações, mas também de associá-las e transformá-las, e restituir o resultado dessas operações sob forma de uma performance individual; mas não, e êste é o ponto essencial, sob uma forma que permita comunicar a outro indivíduo uma asssociação ou transformação original, pessoal. Ao contrário, a linguagem humana permite isso, linguagem que, por definição, podemos considerar nascida a partir do dia em que combinações criadoras, associações *novas,* realizadas num indivíduo, puderam, transmitidas para outros, não mais perecer com êle.

Não conhecemos línguas primitivas: em tôdas as raças de nossa única espécie moderna, o instrumento simbólico atingiu sensìvelmente o mesmo nível de complexidade e de poder de comunicação. Aliás, segundo Chomsky, a estrutura profunda, a «forma» de tôdas as línguas humanas seria a mesma. As extraordinárias performances que a língua representa e ao mesmo tempo autoriza evidentemente estão associadas ao desenvolvimento considerável do sistema nervoso central no *Homo sapiens;* desenvolvimento que, ademais, constitui seu traço anatômico mais distintivo.

Hoje podemos afirmar que a evolução do Homem desde seus mais remotos ancestrais conhecidos incidiu

antes de tudo sôbre o desenvolvimento progressivo da caixa craniana, portanto, do cérebro. Para isso foi necessária uma pressão de seleção orientada, contínua e mantida há mais de dois milhões de anos. Pressão de seleção considerável, pois essa duração é relativamente curta, e *específica*, pois não observamos nada de semelhante em nenhuma outra linhagem: a capacidade craniana dos macacos antropóides modernos de modo algum é maior que a de seus ancestrais de alguns milhões de anos atrás.

É impossível não supor que, entre a evolução privilegiada do sistema nervoso central do Homem e a da performance única que o caracteriza, não tenha havido um ajustamento bastante estreito, que teria feito da linguagem não só o produto, mas uma das condições iniciais dessa evolução.

A hipótese que me parece mais provável é que, surgida muito cedo em nossa linhagem, a comunicação simbólica mais rudimentar, pelas possibilidades radicalmente novas que oferecia, constituiu uma dessas «escolhas» iniciais que engajam o futuro da espécie, criando uma pressão de seleção nova. Essa seleção devia favorecer o desenvolvimento da própria performance lingüística e, conseqüentemente, a do órgão que a serve, o cérebro. Creio que há poderosos argumentos a favor dessa hipótese.

Os mais antigos Hominianos autênticos que hoje conhecemos (os «Australopitecos», que Lerori-Gourhan prefere chamar «Australantropos») já possuíam — e é isso que os define — as características que distinguem o Homem de seus primos mais próximos, os Pôngidos (isto é, os macacos antropóides). Os Australantropos tinham adotado a posição em pé, associada não apenas a uma especialização do pé, mas a numerosas modificações do esqueleto e da musculatura, sobretudo da coluna vertebral e da posição do crânio em relação a esta. Insistiu-se fre-

qüentemente na importância que, para a evolução do Homem, deve ter tido a libertação da servidão do andar com quatro patas, praticado por todos os antropóides, com exceção do Gibão. Não há dúvida de que essa invenção muito antiga (anterior aos Australantropos) foi de extrema importância: só ela podia permitir que nossos ancestrais se tornassem caçadores, sem parar de andar ou de correr, capazes de utilizar seus membros anteriores.

Contudo, a capacidade craniana dêsses Hominianos primitivos era apenas superior à de um chimpanzé e ligeiramente inferior à de um gorila. O pêso do cérebro seguramente não é proporcional às suas performances. Não há dúvida, porém, de que êle não lhes impõe um limite, e de que o *Homo sapiens* só pôde surgir graças ao desenvolvimento de sua caixa craniana.

Seja como fôr, parece estabelecido que, embora o cérebro do Zinjantropo não pesasse mais do que o do Gorila, êle era capaz de performances desconhecidas dos Pôngidos: com efeito, o Zinjantropo tinha uma indústria, na verdade tão primitiva que seus «utensílios» apenas são reconhecíveis como artefatos por causa da repetição das mesmas e muito gastas estruturas, e por causa de seu agrupamento em tôrno de certos esqueletos fósseis. Os grandes macacos utilizam «utensílios» naturais, pedras ou ramos de árvore, quando se apresenta a ocasião, mas não produzem nada de comparável a artefatos segundo uma *norma* reconhecível.

Assim, o Zinjantropo deve ser considerado como um *Homo faber* muito primitivo. Ora, parece bem provável que, entre o desenvolvimento da linguagem e o de uma indústria testemunhando uma atividade projetiva e disciplinada, deve ter havido uma correlação

muito estreita.[3] Portanto é razoável supor que os Australantropos possuíam um instrumento de comunicação simbólica à medida de sua indústria rudimentar. Ademais, se é verdade, como pensa Dart[4], que os Australantropos caçavam com êxito, entre outros, animais poderosos e ferozes como o Rinoceronte, o Hipopótamo e a Pantera, era preciso que isso fôsse uma performance combinada antes por um grupo de caçadores. Projeto cuja formulação prévia teria exigido o emprêgo de uma linguagem.

A essa hipótese parece opor-se o fraco desenvolvimento em volume do cérebro dos Australantropos. Entretanto, experiências recentes, feitas num chimpanzé jovem, parecem mostrar que, se os macacos são incapazes de aprender a linguagem articulada, podem assimilar e utilizar alguns elementos da linguagem simbólica dos surdos-mudos.[5] Podemos, então, supor que a aquisição da capacidade de simbolização articulada resultou de modificações neuromotoras, não necessàriamente muito complexas, num animal que, nesse estádio, não era mais inteligente do que um chimpanzé atual.

Mas é evidente que, uma vez dado êsse passo, o uso de uma linguagem, por mais primitiva que fôsse, não poderia deixar de aumentar em proporções consideráveis o valor de sobrevivência da inteligência. Portanto, não poderia deixar de criar em favor do desenvolvimento do cérebro uma pressão de seleção poderosa e orientada, tal como nenhuma espécie afásica jamais conheceu. Ao mesmo tempo que existia

[3] Leroi-Gourhan, *Le Geste et la Parole*, Albin-Michel (1964). R. L. Holloway, *Current Anthropology*, 10, 395 (1969) — J. Bronowsky, in "To honor Roman Jakobson", Mouton, Paris, p. 374 (1967).

[4] Citado de Leroi-Gourhan, *loc. cit.*

[5] B. T. Gardner e R. A. Gardner, in *Behavior of non-human Primates*, Schrier and Stolnitz Edit., Academic Press, New York (1970).

um sistema de comunicação simbólica, os indivíduos, ou melhor, os grupos mais bem dotados para seu emprêgo, adquiriam sôbre os outros uma vantagem incomparàvelmente maior que aquela que teria conferido uma igual superioridade de inteligência a indivíduos de uma espécie desprovida de linguagem. Vemos também que a pressão de seleção devida ao uso de uma linguagem devia favorecer especialmente a evolução do sistema nervoso central no sentido de uma inteligência de certo tipo: o que era mais apto a explorar essa performance particular, específica, rica de imensos podêres.

a aquisição primária da linguagem

Essa hipótese não teria a seu favor o fato de ser atraente e razoável, se também não fôsse levantada por alguns dados relativos à linguagem atual. O estudo da aquisição da linguagem pela criança sugere de modo irresistível[6] que êsse processo só nos parece miraculoso porque, por natureza, é profundamente diferente da aprendizagem regular de um sistema de regras formais. A criança não aprende nenhuma regra e de forma alguma procura imitar a linguagem dos adultos. Poderíamos dizer que ela toma aquilo que lhe convém em cada estádio de seu desenvolvimento. Logo no início (por volta dos 18 meses), a criança pode ter um estoque de uma dezena de palavras que emprega sempre isoladamente, sem nunca associá-las, mesmo por imitação. Mais tarde, ela associará as palavras por duas, três, etc., segundo uma sintaxe que também não é repetição ou imitação da linguagem adulta. Parece que êsse processo é universal e sua cronologia é a mesma para tôdas as línguas. A facilidade com que, em dois ou três anos (depois do primeiro), êsse jôgo da criança com a língua traz para ela o seu domínio sempre parece inacreditável para o observador adulto.

[6] E. Lenneberg, *Biological Foundations of Language*, Wiley, New York (1967).

Por isso é difícil não ver aí o reflexo de um processo embriológico, epigenético, durante o qual se desenvolvem as estruturas neurais subjacentes às performances lingüísticas. Observações relativas às afasias de origem traumática confirmam essa hipótese. Sobrevindas na criança, essas afasias regridem tanto mais rápida e completamente quanto mais ela é jovem. Ao contrário, tais lesões se tornam irreversíveis, quando ocorrem perto da puberdade ou mais tarde. Todo um conjunto de observações, além dessas, confirmam que existe uma idade crítica para a aquisição espontânea da linguagem. Como todos sabem, aprender uma segunda língua na idade adulta exige um esfôrço voluntário sistemático e constante. O estatuto da língua assim aprendida pràticamente permanece sempre inferior ao da língua nativa, adquirida espontâneamente.

a aquisição da linguagem programada no desenvolvimento epigenético do cérebro

A idéia de que a aquisição primária da linguagem se vincula a um processo de desenvolvimento epigenético está confirmada pelos dados anatômicos. Com efeito, sabemos que a maturação do cérebro prossegue depois do nascimento para terminar na puberdade. Êsse desenvolvimento parece consistir essencialmente num enriquecimento considerável das interconexões dos neurônios corticais. Tal processo, muito rápido nos dois primeiros anos, em seguida diminui. Não prossegue (visìvelmente) para além da puberdade. Cobre, portanto, o «período crítico» durante o qual a aquisição primária é possível.[1]

Daí a pensar que, se na criança a aquisição da linguagem parece tão miraculosamente espontânea, é porque se inscreve na própria trama de um desenvolvimento epigenético *do qual uma das funções é acolhê-la,* há apenas um passo que, na minha parte, não hesito em dar. Tentando ser um pouco mais preciso: dêsse crescimento pós-natal do córtex, sem dúvida, depende o desenvolvimento da própria função cognitiva. É a aquisição da linguagem no próprio curso dessa epigênese que permite associá-la à função cognitiva, e isso de modo tão íntimo que é muito difícil para nós dissociar, pela introspecção, a performance lingüística do conhecimento que ela explicita.

[1] Lenneberg, *loc. cit.*

Admitimos geralmente que a linguagem constitui apenas uma «superestrutura», o que parece, pela extrema diversidade das línguas humanas, produto de uma segunda evolução, a evolução da cultura. No entanto, a amplitude e o refinamento das funções cognitivas no *Homo sapiens,* evidentemente, só encontram sua razão de ser na e pela linguagem. Privadas dêsse instrumento, elas são em sua maioria não utilizáveis, se paralisam. Neste sentido, a capacidade lingüística não pode mais ser considerada como superestrutura. Devemos admitir que, entre as funções cognitivas e a linguagem simbólica que elas postulam e pela qual se explicitam, há no homem moderno uma estreita simbiose que só pode ser o produto de uma longa evolução comum.

Sabemos que, segundo Chomsky e sua escola, sob a extrema diversidade das línguas humanas, a análise lingüística em profundidade revela uma «forma» comum a tôdas essas línguas. Portanto, ainda segundo Chomsky, essa forma deve ser considerada como *inata* e característica da espécie. Essa concepção escandalizou alguns filósofos e antropólogos que viam nela um retôrno à metafísica cartesiana. Com a condição de aceitar o seu conteúdo biológico implícito, essa concepção de forma alguma me choca. Ao contrário, parece-me natural, contanto que se admita que a evolução das estruturas corticais do homem não pôde deixar de ser marcantemente influenciada por uma capacidade lingüística muito cedo adquirida no estado mais frusto. O que significa admitir que a lingua-

gem articulada, quando de sua aparição na linhagem humana, não só permitiu a evolução da cultura, mas também contribuiu de modo decisivo para a evolução *física* do homem. Se realmente foi assim, a capacidade lingüística que se revela no curso do desenvolvimento epigenético do cérebro faz parte hoje da própria «natureza humana» definida no interior do genoma, na linguagem radicalmente diferente do código genético. Milagre? Sem dúvida, pois trata-se, em última análise, de um produto do acaso. Mas, quando o Zinjantropo, ou alguns de seus companheiros, pela primeira vez usou de um símbolo articulado para representar uma categoria, êle, por êsse fato, aumentou em proporções imensas a probabilidade de, um dia, surgir um cérebro capaz de conceber a Teoria Darwiniana da Evolução.

VIII. AS FRONTEIRAS

Quando pensamos no imenso caminho percorrido pela evolução desde talvez três bilhões de anos, na prodigiosa riqueza das estruturas que ela criou, na miraculosa eficácia das performances dos sêres vivos, da Bactéria ao Homem, podemo-nos surpreender a duvidar de que tudo isso seja o produto de uma enorme teoria, tirando ao acaso números entre os quais uma seleção cega designou raros ganhadores.

Revendo em detalhe as provas hoje acumuladas de que essa concepção é realmente a única compatível com os fatos (notadamente com os mecanismos moleculares da replicação, da mutação e da tradução), encontramos a certeza — mas nem por isso uma compreensão imediata — sintética e intuitiva da evolução em seu conjunto. O milagre está «explicado»: êle ainda nos parece miraculoso. Como escreve Mauriac: «O que êsse professor diz é muito mais inacreditável do que aquilo em que cremos, nós, pobres cristãos».

Isso é verdade, como é verdade que não chegamos a fazer uma imagem mental satisfatória de certas abstrações da física moderna. Mas sabemos também que tais dificuldades não podem ser tomadas como

argumento contra uma teoria que tem a seu favor as certezas da experiência e da lógica. Para a física, microscópica ou cosmológica, podemos ver a causa da incompreensão intuitiva: a escala dos fenômenos abordados transcende as categorias de nossa experiência imediata. Só a abstração pode remediar essa enfermidade, sem no entanto curá-la. Para a biologia a dificuldade é de outra ordem. As interações elementares sôbre que tudo repousa são de apreensão relativamente fácil, graças a seu caráter mecanístico. É a fenomenal complexidade dos sistemas vivos que desafia tôda representação intuitiva global. Em biologia como em física, não há, nessas dificuldades subjetivas, argumento contra a teoria.

Atualmente podemos dizer que os mecanismos elementares da evolução são não apenas compreendidos em princípio, mas também identificados com precisão. A solução encontrada é tanto mais satisfatória quanto se trata dos próprios mecanismos que garantem a estabilidade das espécies: invariância replicativa do ADN, coerência teleonômica dos organismos.

A evolução não permanece menos em biologia a noção central destinada a se enriquecer e se precisar durante muito tempo ainda. No entanto, no essencial, o problema está resolvido e a evolução não figura mais nas fronteiras do conhecimento.

De minha parte, vejo essas fronteiras nas duas extremidades da evolução: de um lado, a origem dos primeiros sistemas vivos; do outro, o funcionamento do sistema mais intensamente teleonômico que jamais surgiu, isto é, o sistema nervoso central do homem. Neste capítulo, tentarei delimitar essas duas fronteiras do desconhecido.

◈

Poderíamos pensar que a descoberta dos mecanismos universais sôbre os quais repousam as propriedades essenciais dos sêres vivos tenha aclarado a solução do problema das origens. De fato, essas descobertas, renovando quase inteiramente a questão, hoje colocada em têrmos muito mais precisos, a revelaram mais difícil ainda do que parecia antes.

o problema das origens

A priori podemos definir três etapas no processo que conduziu à aparição dos primeiros organismos:

a) a formação sôbre a terra dos constituintes químicos essenciais dos sêres vivos, nucleótidos e aminoácidos;

b) a formação, a partir dêsses materiais, das primeiras macromoléculas capazes de replicação;

c) a evolução que, em tôrno dessas «estruturas replicativas», construiu um aparelho teleonômico para chegar à célula primitiva.

Os problemas que a interpretação de cada uma dessas etapas coloca são diferentes.

A primeira, freqüentemente chamada fase «pré-biótica», é bastante acessível não só à teoria, mas também à experiência. Se permanece a incerteza, e sem dúvida permanecerá, sôbre os caminhos que, de fato, a evolução química pré-biótica seguiu, o quadro de conjunto parece suficientemente claro. As condições da atmosfera e da crosta terrestre, há quatro bilhões de anos, eram favoráveis à acumulação de certos compostos simples do carbono como o metano. Também havia água e amoníaco. Ora, dêsses compostos simples e na presença de catalisadores não biológicos, obtém-se fàcilmente numerosos corpos mais complexos, entre os quais figuram ácidos aminados e precursores dos nucleótidos (bases azotadas, açúcares). O fato notável é que, em certas condições, cuja reunião parece muito plausível, o rendimento dessas sínteses, em corpos idênticos ou análogos aos constituintes da célula moderna, é muito elevado. Portanto podemos considerar como provado que, num determi-

nado momento sôbre a terra, certas extensões de água *podiam* conter em solução concentrações elevadas dos constituintes essenciais das duas classes de macromoléculas biológicas, ácidos nucleicos e proteínas. Nesta «sopa pré-biótica», diversas macromoléculas se podiam formar por polimerização de seus precursores, aminoácidos e nucleótidos. Com efeito, obteve-se no laboratório, em condições «plausíveis», polipeptidos e polinucleótidos semelhantes, por sua estrutura geral, às macromoléculas «modernas».

Até aí, conseqüentemente, nenhuma dificuldade maior. Mas a primeira etapa decisiva ainda não está vencida: a formação de macromoléculas capazes, nas condições da sopa primitiva, de promover sua própria replicação sem a ajuda de nenhum aparelho teleonômico. Essa dificuldade não parece insuperável. Demonstrou-se que uma seqüência polinucleotídica efetivamente pode guiar, por acasalamento espontâneo, a formação de elementos de seqüência complementar. É claro que tal mecanismo só podia ser muito ineficaz e sujeito a inumeráveis erros. Mas, a partir do momento em que êle entrava em jôgo, os três processos fundamentais da evolução — replicação, mutação, seleção — tinham começado a operar e deviam dar uma considerável vantagem às macromoléculas mais aptas, por sua estrutura seqüencial, para se replicar espontâneamente.[1]

A terceira etapa é, por hipótese, a emergência gradual dos sistemas teleonômicos que, em tôrno da estrutura replicativa, deviam construir um *organismo*, uma célula primitiva. É aqui que atingimos a verdadeira «barreira do som», pois não temos nenhuma idéia do que poderia ser a estrutura de uma célula primitiva. O mais simples sistema vivo que conhecemos, a célula bacteriana, pequena maquinaria de uma complexidade e de uma eficácia extremas, tal-

[1] L. Orgel, *loc. cit.*

vez tenha atingido seu presente estado de perfeição há mais de um bilhão de anos. O plano de conjunto da química desta célula é o mesmo que o de todos os outros sêres vivos. Ela emprega o mesmo código genético e a mesma mecânica de tradução que as células humanas, por exemplo.

Assim, as mais simples células que estudemos nada têm de «primitivo». São o produto de uma seleção que, através de quinhentos ou mil bilhões de gerações, pôde acumular uma aparelhagem teleonômica tão poderosa que os vestígios das estruturas verdadeiramente primitivas são indiscerníveis. Reconstruir sem fósseis tal evolução é impossível. Ao menos, desejaríamos sugerir uma hipótese plausível quanto ao caminho seguido por essa evolução, sobretudo quanto a seu ponto de partida.

O desenvolvimento do sistema metabólico que, na medida em que a sopa primitiva se empobrecia, teve de «aprender» a mobilizar o potencial químico e a sintetizar os constituintes celulares coloca problemas enormes. O mesmo ocorre em relação à emergência da membrana à permeabilidade seletiva, sem a qual não pode haver célula viável. O problema maior, porém, é a origem do código genético e do mecanismo de sua tradução. De fato, não é de «problema» que deveríamos falar, mas de um verdadeiro enigma.

o enigma da origem do código

O código não tem sentido a menos que seja traduzido. A máquina de traduzir da célula moderna comporta pelo menos cinqüenta constituintes macromoleculares, *êles próprios codificados no ADN: o código só pode ser traduzido por produtos de tradução.* É a expressão moderna de *omne vivum ex ovo*. Quando e como êsse círculo se fechou sôbre si mesmo? É excessivamente difícil imaginar. Mas o fato de que hoje o código seja decifrado e conhecido para ser universal permite ao menos que coloquemos o problema em têr-

mos precisos, simplificando um pouco sob a forma da seguinte alternativa:

a) a estrutura do código se explica por razões químicas ou, mais exatamente, estereoquímicas. Se um certo «codon» foi «escolhido» para representar um certo aminoácido, é porque havia uma certa afinidade estereoquímica;

b) a estrutura do código é quìmicamente arbitrária. O código, tal como o conhecemos, resulta de uma série de escolhas ao acaso que o enriquecem pouco a pouco.

A primeira hipótese, de longe, parece a mais sedutora. Primeiramente, porque explicaria a universalidade do código. Em seguida, porque permitiria imaginar um mecanismo primitivo de tradução, no qual o alinhamento seqüencial dos aminoácidos para formar um polipeptido seria devido a uma interação direta entre os aminoácidos e a própria estrutura replicativa. Enfim e sobretudo, porque essa hipótese, se fôsse verdadeira, seria em princípio verificável. Por isso foram feitas numerosas tentativas de verificação cujo balanço, no momento, deve ser considerado como negativo.[2]

Talvez ainda não tenha sido dita a última palavra sôbre êste assunto. Esperando uma confirmação que parece improvável, somos conduzidos à segunda hipótese, desagradável por razões metodológicas, o que de forma alguma significa que seja inexata. Desagradável por várias razões, ela não explica a universalidade do código. Devemos, então, admitir que, entre numerosas tentativas de elaboração, apenas uma sobreviveu. O que em si, aliás, é muito provável, mas não propõe nenhum modêlo de tradução primitiva. A especulação deve suprir tal carência. E não faltam as mais engenhosas: o campo está livre, livre demais.

[2] Cf. F. Crick, *Journal of Molecular Biology*, 38, pp. 367-379 (1968).

Permanece o enigma que mascara a resposta a uma questão de profundo interêsse. A vida apareceu sôbre a terra: qual era, *antes do acontecimento*, a probabilidade de que fôsse assim? Não se exclui a hipótese, muito ao contrário, pela estrutura atual da biosfera, de que o acontecimento decisivo só se tenha produzido uma única vez. Isso significaria que sua probabilidade *a priori* era quase nula.

Essa idéia repugna à maioria dos homens de ciência. De um acontecimento único a ciência não pode dizer nem fazer nada. Ela só pode «discorrer» sôbre acontecimentos que formam uma classe e cuja probabilidade *a priori*, por fraca que seja, é finita. Ora, pela própria universalidade de suas estruturas, a começar pelo código, a biosfera surge como o produto de um acontecimento único. É possível que êsse caráter singular seja devido à eliminação, pela seleção, de muitas outras tentativas ou variantes. Mas nada impõe tal interpretação.

A probabilidade *a priori* de que se produza um acontecimento singular entre todos os acontecimentos possíveis no universo é vizinha do zero. No entanto, o universo existe. É preciso que acontecimentos singulares nêle se produzam, acontecimentos cuja probabilidade (antes do acontecimento) era ínfima. Atualmente não temos o direito de afirmar, nem o de negar que a vida tenha aparecido *uma única vez* sôbre a Terra, e que, em conseqüência, antes que ela fôsse, suas chances de ser eram quase nulas.

Essa idéia não é apenas desagradável aos biologistas enquanto homens de ciência. Ela se choca contra nossa tendência humana a crer que tôda coisa real no universo atual era necessária, e isso desde sempre. Devemos estar sempre em guarda contra êsse sentimento tão poderoso do destino. A ciência moderna ignora tôda imanência. O destino se inscreve na medida em que se cumpre, não antes. O nosso não

estava escrito antes que surgisse a espécie humana, a única na biosfera a utilizar um sistema lógico de comunicação simbólica. Outro acontecimento único que, por isso mesmo, nos deveria prevenir contra todo antropocentrismo. Se foi único, como talvez tenha sido única a aparição da própria vida, é porque, antes de aparecer, suas chances eram quase nulas. O Universo não estava grávido da vida, nem a biosfera, do homem. Nosso número saiu no jôgo de Monte Carlo. O que há de espantoso em que, tal como aquêle que acaba de ganhar um bilhão, experimentemos a estranheza de nossa condição?

◈

a outra fronteira: o sistema nervoso central

O lógico poderia advertir o biologista de que seus esforços para «compreender» o funcionamento total do cérebro humano estão destinados ao fracasso, pois nenhum sistema lógico seria capaz de descrever integralmente sua própria estrutura. Essa advertência seria fora de propósito, tão longe estamos da fronteira absoluta do conhecimento. Em todo caso, tal objeção lógica não se aplica à análise pelo homem do sistema nervoso central de um animal. Sistema que podemos supor menos complexo e menos poderoso que o nosso. No entanto, mesmo nesse caso permanece uma dificuldade maior: a experiência consciente de um animal é impenetrável para nós e, sem dúvida, no-lo será sempre. Podemos afirmar que uma descrição exaustiva do funcionamento do cérebro de uma rã, por exemplo, seria possível, em princípio, enquanto êsse dado permanecesse inacessível? Podemos duvidar. De sorte que a exploração do cérebro humano, não obstante as barreiras opostas à experimentação, permanecerá sempre insubstituível, pela possibilidade que oferece de comparar os dados objetivos e subjetivos concernentes a uma experiência.

Seja como fôr, a estrutura e o funcionamento do cérebro podem e devem ser explorados simultâneamente em todos os níveis acessíveis, com a esperança de que essas pesquisas, muito diferentes por seus métodos como por seu objeto imediato, convergirão um dia. No entanto, elas só convergem pela dificuldade dos problemas que levantam.

Entre os mais difíceis e os mais importantes, estão os problemas colocados pelo desenvolvimento epigenético de uma estrutura tão complexa quanto o sistema nervoso central. No homem, êle compreende 10^{12} a 10^{13} neurônios interconectados por intermédio de umas 10^{14} a 10^{15} sinapses, algumas das quais associam células nervosas distanciadas umas das outras. Já mencionei o enigma que a realização de interações morfogenéticas à distância propõe, e não voltarei mais a isso. Ao menos, tais problemas podem ser claramente colocados, graças sobretudo a algumas experiências notáveis.[3]

Não seríamos capazes de compreender o funcionamento do sistema nervoso central sem conhecer o do elemento lógico primário constituído pela sinapse. De todos os níveis de análise êste é o mais acessível à experiência, e técnicas refinadas proporcionaram uma considerável massa de documentos. Contudo, ainda estamos longe de uma interpretação da transmissão sináptica em têrmos de interações moleculares. Trata-se, porém, de um problema essencial, pois, sem dúvida, aí reside o segrêdo último da memória. Já há muito tempo se propôs que esta é registrada sob a forma de uma alteração mais ou menos irreversível das interações moleculares responsáveis pela transmissão do influxo nervoso ao nível de um conjunto de sinapses. Essa teoria tem a seu favor a verossimilhança, mas não provas diretas.[4]

[3] Sperry, *passim*.

[4] Uma teoria, segundo a qual a memória seria codificada na seqüência dos radicais de certas macromoléculas (ácidos ribo-

Não obstante a profunda ignorância em relação aos mecanismos primários do sistema nervoso central, a eletrofisiologia moderna forneceu resultados profundamente significantes sôbre a análise e a integração dos sinais nervosos, sobretudo em certas vias sensoriais.

Primeiramente, sôbre as propriedades do neurônio como integrador dos sinais que êle pode receber (por intermédio das sinapses) de numerosas outras células. A análise provou que, por suas performances, o neurônio é estreitamente comparável aos componentes integrados de um computador eletrônico. Como êste, êle é capaz de efetuar, por exemplo, tôdas as operações lógicas da álgebra proposicional. Mas, além disso, pode adicionar ou subtrair diferentes sinais, levando em conta sua coincidência no tempo, como também modificar a *freqüência* dos sinais que emite, em função da *amplitude* daqueles que recebe. De fato, parece que nenhum componente unitário atualmente utilizado pelos computadores modernos seja capaz de performances tão variadas e finamente moduladas. Contudo, a analogia permanece impressionante, e frutuosa a comparação entre as máquinas cibernéticas e o sistema nervoso central. Mas devemos notar que ela ainda se limita aos níveis inferiores de integração: primeiros graus da análise sensorial, por exemplo. As funções superiores do córtex, cuja linguagem é a expressão, ainda parecem escapar totalmente a isso. Podemos perguntar-nos se não há aí apenas uma diferença «quantitativa» (grau de complexidade) ou «qualitativa». Na minha opinião, essa questão não

nocleicos), recentemente foi aceita por alguns fisiologistas. Êstes acreditavam que, assim, aparentemente iam ao encontro e utilizavam as concepções depreendidas do estudo do código genético. Ora, essa teoria é insustentável em relação, precisamente, a nossos conhecimentos atuais sôbre o código e os mecanismos da tradução.

faz sentido. Nada permite supor que as interações elementares sejam de natureza diferente em diferentes níveis de integração. Se há um caso em que a primeira lei da dialética é aplicável, é exatamente êste.

◈

funções do sistema nervoso central

O próprio refinamento das funções cognitivas do homem e a abundância de suas aplicações, provocada por êle, não nos deixam perceber as funções primordiais que o cérebro desempenha na série animal (inclusive o homem). Talvez possamos enumerar e definir essas funções primordiais da seguinte maneira:

1. garantir o comando e a coordenação central da atividade neuromotora, sobretudo em função das aferências sensoriais;

2. conter, sob forma de circuitos genèticamente determinados, programas de ação mais ou menos complexos; movimentá-los em função de estímulos particulares;

3. analisar, filtrar e integrar as aferências sensoriais para construir uma representação do mundo exterior adaptada às performances específicas do animal;

4. registrar os acontecimentos que (considerada a gama das performances específicas) são significativos, agrupá-los em classes, segundo suas analogias; associar essas classes, segundo as relações (de coincidência ou de sucessão) dos acontecimentos que as constituem; enriquecer, refinar e diversificar os programas inatos, nisso incluindo essas experiências;

5. imaginar, isto é, *representar e simular* acontecimentos exteriores ou programas de ação do próprio animal.

As funções definidas pelos três primeiros itens são exercidas pelo sistema nervoso central de animais que geralmente não classificamos como superiores: artró-

podes, por exemplo. Os exemplos mais espetaculares que conhecemos de programas de ação inatos extremamente complexos encontram-se nos insetos. É duvidoso que as funções resumidas pelo item 4 desempenhem um papel importante nesses animais.[5] Em contrapartida, contribuem de modo decisivo não só para o comportamento dos invertebrados superiores, como o polvo[6], mas também os de todos os vertebrados.

Quanto às funções do item 5, que poderíamos qualificar de «projetivas», sem dúvida são privilégio apenas dos vertebrados superiores. Aqui, porém, interpõe-se a barreira da consciência, e é possível que só saibamos reconhecer os sinais exteriores dessa atividade (o sonho, por exemplo) em nossos parentes próximos, sem que outras espécies, em absoluto, sejam privadas dela.

As funções 4 e 5 são cognitivas, ao passo que a dos itens 1, 2 e 3 são ùnicamente coordenadoras e representativas. Apenas as funções do item 5 podem ser criadoras de *experiência subjetiva.*

a análise das impressões sensoriais

Segundo a proposição do item 3, a análise pelo sistema nervoso central das impressões sensoriais forneçe uma representação do mundo exterior empobrecida e orientada. Uma espécie de resumo onde só aparece em plena luz aquilo que interessa particularmente ao animal em função de seu comportamento específico (em suma, trata-se de um resumo «crítico», tomando êste têrmo numa acepção complementar do sentido kantiano). A experiência demonstra com abundância que é exatamente assim. Por exemplo, o analisador situado atrás do ôlho de uma rã permite-lhe ver uma môsca (isto é, um ponto negro)

[5] Com exceção, talvez, das abelhas.
[6] J. Z. Young, "A model of the brain", Oxford University Press (1964).

em movimento, mas não em repouso.[7] De modo que a rã só abocanhará a môsca em vôo. Devemos insistir no fato, provado pela análise eletrofisiológica, de que isso não é o resultado de um comportamento que faria a rã desdenhar um ponto negro imóvel, como não representando com certeza um alimento. Sem dúvida, a imagem do ponto imóvel se imprime na retina, mas não é transmitida, pois o sistema só é excitado por um objeto em movimento.

Certas experiências com o gato[8] sugerem uma interpretação do fato misterioso de que um campo, refletindo ao mesmo tempo tôdas as côres do espectro, seja visto como uma praia *branca,* enquanto que o branco é subjetivamente interpretado como ausência de tôda e qualquer côr. Os experimentadores mostraram que, em conseqüência de inibições cruzadas entre certos neurônios respondendo respectivamente aos diversos comprimentos de ondas, êstes não enviavam sinais, quando a retina estava uniformemente exposta à gama total dos comprimentos de ondas visíveis. Portanto, num sentido subjetivo, Goethe tinha razão contra Newton. Êrro eminentemente perdoável a um poeta. Também não há mais dúvida alguma de que os animais sejam capazes de classificar objetos ou relações entre objetos, segundo categorias abstratas, sobretudo geométricas: um polvo ou um rato podem aprender a noção de triângulo, de círculo ou de quadrado, e reconhecer sem êrro essas figuras, por suas propriedades geométricas, independentemente da dimensão, da orientação ou da côr com que podemos vestir o objeto real que lhes é apresentado.

O estudo dos circuitos que analisam as figuras apresentadas no campo de visão do gato demonstra

[7] H. B. Barlow, *Journal of Physiology,* 119, pp. 69-88 (1953).
[8] T. N. Wiesel e D. H. Hubel, *J. Neurophysiol.,* 29, pp. 1115-1156 (1966).

que essas explorações geométricas são devidas à própria estrutura dos circuitos que filtram e recompõem a imagem retiniana. Êsses analisadores impõem definitivamente suas próprias restrições à imagem, de que extraem alguns elementos simples. Certas células nervosas, por exemplo, só respondem à figura de uma direita, quando inclinada da esquerda para a direita; outras, a uma direita, quando inclinada no sentido inverso. As «noções» da geometria elementar portanto apenas são representadas dêsse modo no objeto por causa do analisador sensorial, que o percebe e o recompõe a partir de seus elementos mais simples.[9]

inatismo e empirismo

Por conseguinte, essas descobertas modernas dão razão, num sentido nôvo, a Descartes e a Kant, contra o empirismo radical que, no entanto, há duzentos anos reina na ciência, lançando suspeitas sôbre tôda hipótese que supõe o «caráter inato» dos quadros do conhecimento. Ainda em nossos dias alguns etologistas parecem presos à idéia de que os elementos do comportamento no animal são ou inatos ou aprendidos, cada um dêsses modos excluindo absolutamente o outro. Tal concepção é completamente errônea, conforme Lorenz vigorosamente demonstrou.[10] Quando o comportamento implica elementos adquiridos pela experiência, êles o são segundo um *programa* que é inato, isto é, genèticamente determinado. A estrutura do programa postula e guia a aprendizagem que se inscreverá numa certa «forma» preestabelecida, definida no patrimônio genético da espécie. Sem dúvida, é assim que devemos interpretar o processo de aprendizagem primária da linguagem na criança (cf. capítulo VII). Não há razão alguma para supormos

[9] D. H. Hubel e T. N. Wiesel, *Journal of Physiology*, 148, pp. 574-591 (1959).
[10] K. Lorenz, *Evolution and Modification of Behavior*, University of Chicago Press, Chicago (1965).

que não seja assim em relação às categorias fundamentais do conhecimento no homem, e talvez também em relação a muitos outros elementos do comportamento humano, menos fundamentais, mas de grande significação para o indivíduo e a sociedade. Tais programas, em princípio, são acessíveis à experiência. Os etologistas todos os dias conduzem a ela problemas semelhantes. Experiências cruéis que, de fato, é impensável praticar no homem e na criança. De modo que, por respeito a si mesmo, o homem não pode senão se proibir explorar algumas das estruturas constitutivas do seu ser.

A longa controvérsia sôbre o caráter inato cartesiano das «idéias» negado pelos empiristas lembra a que dividiu os biologistas a respeito de distinção entre fenótipo e genótipo. Distinção fundamental, indispensável à própria definição do patrimônio hereditário, para os genéticos que a tinham introduzido, mas muito suspeita aos olhos de muitos biologistas não genéticos, que nela viam apenas um artifício destinado a salvar o postulado da invariância do gene. Uma vez mais encontramos aí a oposição entre aquêles que não querem conhecer senão o objeto atual, concreto, em sua presença total, e aquêles que nêle procuram discernir a representação mascarada de uma forma ideal. Só há dois tipos de sábios, dizia Alain: os que amam as idéias e os que odeiam as idéias. Essas duas atitudes de espírito ainda se opõem na ciência; ambas são, por sua confrontação, necessárias aos progressos da ciência. Só podemos lamentar, em relação aos que desprezam as idéias, que êsse progresso, para o qual contribuem, invariàvelmente não lhes dê razão.

Contudo, num sentido muito importante, os grandes empiristas do século XVIII não se enganaram.

É perfeitamente verdade que tudo, nos sêres vivos, vem da experiência, inclusive o caráter inato genético, quer seja o comportamento estereotipado das abelhas, quer os quadros inatos do conhecimento humano. Mas não da experiência atual, renovada por cada indivíduo, em cada geração: outrossim, daquela acumulada por tôda a ascendência da espécie no curso da evolução. Só essa experiência haurida ao acaso, só essas tentativas inumeráveis, castigadas pela seleção, podiam fazer do sistema nervoso central, como qualquer outro órgão, um sistema adaptado à sua função particular. Para o cérebro: dar do mundo sensível uma representação adequada às performances da espécie, fornecer o quadro que permite classificar eficazmente os dados, em si próprios inutilizáveis, da experiência imediata, e mesmo, no homem, simular subjetivamente a experiência para antecipar seus resultados e preparar a ação.

a função de simulação

É o poderoso desenvolvimento e o uso intensivo da função de simulação que me parecem caracterizar as propriedades únicas do cérebro do Homem. Isso no nível mais profundo das funções cognitivas, aquêle em que repousa a linguagem e que, sem dúvida, êle só explicita em parte. Contudo, essa função não é exclusivamente humana. O cãozinho que manifesta sua alegria vendo seu dono preparar-se para um passeio imagina evidentemente, isto é, simula por antecipação as descobertas que vai fazer, as aventuras que o esperam, os terrores deliciosos que experimentará sem perigo, graças à tranqüilizante presença de seu protetor. Mais tarde, êle simulará tudo isso de nôvo, confusamente, em sonho.

No animal, como também na criança, a simulação subjetiva só parcialmente parece dissociada da atividade neuromotora. Seu exercício se traduz pelo jôgo. Mas, no homem, a simulação subjetiva se torna a

função superior por excelência, a função criadora. É ela que é refletida pela simbólica da linguagem que a explicita transpondo e resumindo suas operações. Daí o fato, sublinhado por Chomsky, de que a linguagem, mesmo em suas utilizações mais humildes, é quase sempre inovadora: é que ela traduz uma experiência subjetiva, uma simulação particular, sempre nova. É nisso também que a linguagem humana difere radicalmente da comunicação animal. Esta se reduz a apelos ou advertências que correspondem a um certo número de situações concretas estereotipadas. O animal mais inteligente, sem dúvida capaz de simulações subjetivas bastante exatas, não dispõe de nenhum meio de «liberar sua consciência», a não ser indicando grosseiramente em que *sentido* exerce sua imaginação. O Homem, sim, sabe falar de suas experiências subjetivas: a experiência nova, o encontro criador não perecem mais com aquêle em que pela primeira vez terão sido simulados.

Todos os homens de ciência devem ter, penso eu, tomado consciência de que sua reflexão, em nível profundo, não é verbal: é uma *experiência imaginária,* simulada com a ajuda de formas, de fôrças, de interações que só muito mal compõem uma «imagem» no sentido visual do têrmo. Eu mesmo me surpreendi — à fôrça de atenção centrada na experiência imaginária, nada mais tendo no campo da consciência — a me identificar com uma molécula de proteína. Entretanto não é nesse momento que aparece a significação da experiência simulada, mas apenas uma vez simbòlicamente explicitada. Com efeito, não creio que se deva considerar as imagens não visuais, sôbre as quais opera a simulação, como símbolo, mas, antes, se assim ouso dizer, como a «realidade» subjetiva e abstrata, diretamente oferecida à experiência imaginária.

Seja como fôr, no uso corrente, o processo de simulação é inteiramente mascarado pela palavra que o segue quase imediatamente, e parece confundir-se com o próprio pensamento. Sabemos, porém, que numerosas observações objetivas provam que, no homem, as funções cognitivas, mesmo complexas, não estão imediatamente vinculadas à palavra (ou a qualquer outro meio de expressão simbólica). Podemos citar principalmente os estudos feitos sôbre diversos tipos de afasia. Talvez as experiências mais impressionantes sejam as de Sperry [11], bem recentes, sôbre pessoas cujos dois hemisférios cerebrais foram separados por secção cirúrgica do «corpus callosum». O ôlho direito e a mão direita, nessas pessoas, só comunicam informação ao hemisfério esquerdo, e recìprocamente. Assim, um objeto visto pelo ôlho esquerdo, ou apalpado pela mão esquerda, é reconhecido sem que a pessoa possa nomeá-lo. Ora, em certos testes difíceis em que se tratava de acasalar a forma (tridimensional) de um objeto mantido numa das duas mãos, ao desenvolvimento *em plano* dessa forma, representada numa tela, o hemisfério direito (afásico) se mostrava, de muito, superior ao hemisfério «dominante» (esquerdo), e mais rápido na discriminação. É tentador especular sôbre a possibilidade de que uma parte importante, talvez a mais «profunda», da simulação subjetiva seja garantida pelo hemisfério direito.

◈

Se é legítimo considerar que o pensamento repousa num processo de simulação subjetiva, devemos admitir que o alto desenvolvimento dessa faculdade no homem é o resultado de uma evolução: foi na ação

[11] J. Levi-Agresti e R. W. Sperry, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 61, p. 1151 (1968).

concreta, preparada pela experiência imaginária, e no curso daquela evolução, que a eficácia dêsse processo, seu valor de sobrevivência, foi experimentada pela seleção. Portanto, foi por sua capacidade de representação adequada e de previsão exata *confirmada pela experiência concreta* que o poder de simulação do sistema nervoso central, em nossos ancestrais, foi impulsionado até o estado atingido no *Homo sapiens*. O simulador subjetivo não se podia enganar, quando se tratava de organizar uma caça à pantera com as armas de que dispunha o Australantropo, o Pitecantropo, ou mesmo o *Homo sapiens* de Cro-Magnon. Por isso o instrumento lógico inato, herdado de nossos ancestrais, não nos engana e nos permite «compreender» os acontecimentos do universo, isto é, descrevê-los em linguagem simbólica e prevê-los, contanto que os elementos de informação necessários sejam fornecidos ao simulador.

Instrumento de antecipação, que incessantemente se enriquece com os resultados de suas próprias experiências, o simulador é o instrumento da descoberta e da criação. Foi a análise da lógica de seu funcionamento subjetivo que permitiu formular as regras da lógica objetiva e criar novos instrumentos simbólicos, como as matemáticas. Grandes espíritos (Einstein) freqüentemente se maravilharam, com todo direito, com o fato de que os sêres matemáticos criados pelo homem pudessem representar a natureza de modo tão fiel, embora nada devessem à experiência. Nada, é verdade, à experiência individual e concreta, mas tudo às virtudes do simulador forjado pela experiência inumerável e cruel de nossos humildes ancestrais. Confrontando sistemàticamente a lógica e a experiência, segundo o método científico, é de fato tôda a experiência dêsses ancestrais que confrontamos com a experiência atual.

◈

Se podemos adivinhar a existência dêsse maravilhoso instrumento, se sabemos traduzir pela linguagem o resultado de suas operações, não temos a menor idéia de seu funcionamento, de sua estrutura. A experimentação fisiológica, em relação a isso, ainda é quase impotente. A introspecção, com todos os seus perigos, nos diz, apesar de tudo, um pouco mais. Resta a análise da linguagem que, no entanto, só revela o processo de simulação através de transformações desconhecidas e, sem dúvida, não explicita tôdas as suas operações.

a ilusão dualista e a presença do espírito

Eis a fronteira, ainda quase tão intransponível para nós quanto o era para Descartes. Enquanto não fôr vencida, o dualismo conservará, em suma, sua verdade operacional. A noção de cérebro e a de espírito, atualmente, não se confundem mais para nós do que para os homens do século XVII. A análise objetiva nos obriga a ver uma ilusão no dualismo aparente do ser. Ilusão, porém, tão ìntimamente vinculada ao próprio ser que seria vão esperar um dia dissipá-la na apreensão imediata da subjetividade, ou aprender a viver afetivamente, moralmente, sem ela. E, aliás, por que isso seria necessário? Quem poderia duvidar da presença do espírito? Renunciar à ilusão que vê na alma uma «substância» imaterial não é negar sua existência, mas começar a reconhecer a complexidade, a riqueza, a insondável profundidade não só da herança genética e cultural, como também da experiência pessoal, consciente ou não, que juntas constituem o ser que somos, única e irrecusável testemunha de si mesmo.

IX. O REINO E AS TREVAS

No dia em que, dissemos nós, o Australantropo ou qualquer um de seus congêneres chegou a comunicar não mais apenas uma experiência concreta e atual, mas um conteúdo de uma experiência subjetiva, de uma «simulação» pessoal, nascia um nôvo reino: o das idéias. Uma evolução nova, a da cultura, tornava-se possível. A evolução física do Homem devia prosseguir por muito tempo ainda, só que doravante estreitamente associada à da linguagem, sofrendo profundamente a sua influência, que subvertia as condições da seleção.

pressões de seleção na evolução do Homem

O homem moderno é o produto dessa simbiose evolutiva. Em qualquer outra hipótese êle é incompreensível, indecifrável. Todo ser vivo é *também* um fóssil. Traz em si, e até na estrutura microscópica de suas proteínas, os traços, senão os estigmas, de sua ascendência. Isso é muito mais verdadeiro para o Homem do que para qualquer outra espécie animal, em virtude da dualidade, física e «ideal», da evolução de que é o herdeiro.

Podemos pensar que, durante centenas de milênios, a evolução ideal só de pouco precedeu a evolução física, que a pressionava pelo fraco desenvolvimento de

um córtex capaz apenas de antecipar acontecimentos diretamente ligados à sobrevivência imediata. Daí a intensa pressão de seleção que devia impelir ao desenvolvimento do poder de simulação e da linguagem que explicita suas operações. Daí também a rapidez, surpreendente, dessa evolução de que dão testemunho os crânios fósseis.

Mas, à medida que essa evolução conjunta prosseguia, seu componente ideal só podia adquirir mais independência em relação às pressões que o próprio desenvolvimento do sistema nervoso central suprimia pouco a pouco. Por causa dessa evolução, o Homem estendia sua dominação sôbre o universo sub-humano e sofria menos dos perigos que êste ocultava para êle. A pressão de seleção que guiara a primeira fase da evolução podia, então, se relaxar e, em todo caso, assumia um outro caráter. Doravante dominando seu meio, o Homem só tinha diante de si um adversário sério — êle mesmo. A luta intra-específica direta, a luta de morte, tornou-se desde então um dos principais fatôres de seleção na espécie humana. Fenômeno extremamente raro na evolução dos animais. Atualmente, a guerra intra-específica, entre raças ou grupos distintos, é desconhecida nas espécies animais. Nos grandes mamíferos, mesmo o combate singular, freqüente entre os machos, só raramente provoca a morte do vencido. Todos os especialistas concordam em pensar que a luta direta, o *struggle for life* de Spencer, desempenhou apenas um papel menor na evolução das espécies. O mesmo não acontece com o Homem. Ao menos, a partir de um certo grau de desenvolvimento e de expansão da espécie, a guerra tribal ou racial evidentemente desempenhou um papel importante como fator de evolução. É bem possível que a desaparição brutal do Homem de Neandertal seja o resultado de um genocídio cometido pelo *Homo sapiens*, nosso ancestral. Êste não devia ser o último: conhecemos bastantes genocídios históricos.

Em que sentido essa pressão de seleção devia impelir a evolução humana? Ela pôde favorecer a expansão de raças melhor dotadas de inteligência, de imaginação, de vontade, de ambição. Mas deve também ter favorecido a coesão do bando, a agressividade do grupo, mais ainda do que a coragem solitária, o respeito das leis da tribo, mais do que a iniciativa.

Aceito tôdas as críticas que se quiser fazer a êsse esquema simplista. Não pretendo dividir a evolução humana em duas fases distintas, apenas tentei enumerar as principais pressões de seleção que, certamente, desempenharam um papel maior na evolução não só cultural, mas também física do homem. O ponto importante é que, durante essas centenas de milhares de anos, a evolução cultural não podia deixar de influenciar a evolução física. No homem, mais ainda do que em qualquer outro animal, e em virtude mesmo de sua autonomia infinitamente superior, é o *comportamento* que *orienta* a pressão de seleção. E, desde que o comportamento cessou de ser sobretudo automático para tornar-se cultural, os próprios traços culturais deviam exercer sua pressão sôbre a evolução do genoma.

Isso, no entanto, até o momento em que a rapidez crescente da evolução cultural devia dissociar de si, completamente, a do genoma.

◈

perigos de degradação genética nas sociedades modernas

É evidente que no interior das sociedades modernas a dissociação é total. A seleção aí foi suprimida. Ao menos, não tem mais nada de «natural» no sentido darwiniano do têrmo. Em nossas sociedades, e à medida que ainda se exerce uma seleção, ela não favorece a «sobrevivência do mais apto», isto é, em têrmos mais modernos, a sobrevivência *genética* dêsse «mais apto», por uma expansão maior de sua des-

cendência. A inteligência, a ambição, a coragem, a imaginação, de certo sempre são fatôres de sucesso nas sociedades modernas. Mas de sucesso *pessoal,* e não *genético,* o único que conta para a evolução. Muito ao contrário. Como todos sabem, as estatísticas revelam uma correlação negativa entre o quociente de inteligência (ou nível de cultura) e o número médio de filhos dos casais. Em contrapartida, essas mesmas estatísticas demonstram que, para o quociente de inteligência, existe uma forte correlação positiva entre esposos. Situação perigosa que corre o risco de drenar pouco a pouco para uma elite — a qual tenderia em valor relativo a restringir-se — o potencial genético mais elevado.

Há mais: numa época ainda recente, mesmo nas sociedades relativamente avançadas, a eliminação dos menos aptos, física e intelectualmente, era automática e cruel. A maioria não atingia a puberdade. Hoje, muitos dêsses enfermos genéticos sobrevivem o bastante para se reproduzir. Graças ao progresso do conhecimento e da ética social, o mecanismo que defendia a espécie contra a degradação, inevitável quando a seleção natural é abolida, só funciona para as taras mais graves.

A êsses perigos, freqüentemente assinalados, por vêzes são opostos os remédios esperados dos recentes progressos da genética molecular. Devemos dissipar essa ilusão difundida por alguns meio-sábios. Sem dúvida, poderemos atenuar certas taras genéticas, *mas sòmente para o indivíduo atingido,* não em sua descendência. Não apenas a genética molecular moderna não nos propõe *meio algum* de agir sôbre o patrimônio hereditário a fim de enriquecê-lo com traços novos, para criar um «super-homem» genético, como também revela a vaidade de tal esperança: a escala microscópica do genoma proíbe, no momento e sem dúvida para sempre, tais manipulações. Quimeras de ficção científica à parte, o único meio de «melhorar» a espécie humana seria operar uma seleção deliberada e severa. Quem há de querer, quem ousará empregá-lo?

É certo o perigo, para a espécie, das condições de não-seleção, ou de seleção às avessas, que reinam nas sociedades avançadas. No entanto, só a longo prazo poderia tornar-se muito sério: digamos dez ou quinze gerações, vários séculos. Ora, as sociedades modernas estão expostas à ameaças de outro modo prementes e graves.

◈

Não falo aqui da explosão demográfica, da destruição da natureza, nem mesmo dos megatons. Falo de um mal muito mais profundo e mais grave, um mal da alma. Êste é o maior desvio da evolução ideal, que o criou e sem cessar o agrava. O prodigioso desenvolvimento do conhecimento de três séculos para cá, hoje, pressiona o homem a uma revisão dilacerante da concepção, enraizada há dezenas de milhares de anos, que se fazia de si mesmo e da sua relação com o universo.

Tudo isso, porém, o mal da alma como a potência dos megatons, nos vem de uma simples idéia: a natureza é objetiva, a verdade do conhecimento não pode ter outra fonte senão a confrontação sistemática da lógica e da experiência. Não compreendemos bem como foi possível que, no reino das idéias, aquela, tão simples e tão clara, só tenha podido aparecer em plena luz cem mil anos depois da emergência do *Homo sapiens;* como foi possível que civilizações das mais altas, como a chinesa, a tenham ignorado, para aprendê-la do ocidente; nem por que, no próprio ocidente, foram precisos quase dois mil e quinhentos anos, de Tales e Pitágoras a Galileu, Descartes e

Bacon, para que enfim ela se libertasse da ganga que a restringia à pura prática das artes mecânicas.

a seleção das idéias

Para um biologista, é tentador comparar a evolução das idéias à da biosfera. Pois, se o reino abstrato transcende a biosfera, mais ainda do que esta o universo não vivo, as idéias conservaram algumas das propriedades dos organismos. Como êstes, elas tendem a perpetuar sua estrutura e a multiplicá-la; como êstes, elas podem fundir, recombinar, segregar seu conteúdo; como êstes, enfim, elas evoluem, e nessa evolução a seleção, sem dúvida, desempenha um grande papel. Não me aventurarei a propor uma teoria da seleção das idéias. Ao menos, porém, podemos tentar definir alguns dos principais fatôres que aí desempenham um papel. Essa seleção necessàriamente deve operar em dois níveis: o do próprio espírito e o da performance.

O valor de performance de uma idéia deve-se à modificação de comportamento que ela traz para o indivíduo ou para o grupo que a adota. A que confere ao grupo humano, que a faz sua, mais coesão, mais ambição, mais confiança em si, lhe dará, por isso mesmo, um acréscimo de poder de expansão, o qual por sua vez garantirá a promoção da própria idéia. Êsse valor de promoção não tem uma relação necessária com a parte de verdade objetiva que a idéia possa comportar. A poderosa armadura que uma ideologia religiosa constitui para uma sociedade não deve nada à sua estrutura em si mesma, mas ao fato de que essa estrutura é aceita, se impõe. Por isso, só dificilmente podemos separar o poder de invasão de tal idéia e seu poder de performance.

O poder de invasão, em si, é bem mais difícil de analisar. Digamos que êle depende das estruturas preexistentes do espírito, entre as quais as idéias já veiculadas pela cultura, e também, sem dúvida, cer-

tas estruturas inatas que para nós é muito difícil identificar. Mas vemos bem que as idéias dotadas do mais alto poder de invasão são as que *explicam* o homem, indicando-lhe seu lugar num destino imanente, em cujo interior sua angústia se dissolve.

◈

a exigência de explicação

Durante centenas de milhares de anos, o destino de um homem se confundia com o de seu grupo, de sua tribo, fora da qual êle não podia sobreviver. A tribo, quanto a si, não podia sobreviver nem se defender, a não ser por coesão. Daí o extremo poder subjetivo das leis que organizavam e garantiam essa coesão. Determinado homem, por vêzes, talvez pudesse infringi-las. Sem dúvida, porém, nenhum teria sonhado negá-las. Dada a imensa importância seletiva que tais estruturas sociais necessàriamente assumiram, e durante tanto tempo, é difícil não pensar que elas devem ter influenciado a evolução genética das categorias inatas do cérebro humano. Essa evolução devia não só facilitar a aceitação da lei tribal, mas criar a *necessidade* da explicação mítica que a funda, conferindo-lhe a soberania. Somos os descendentes dêsses homens. Sem dúvida, foi dêles que herdamos a exigência de uma explicação, a angústia que nos pressiona a procurar o sentido da existência. Angústia criadora de todos os mitos, de tôdas as religiões, de tôdas as filosofias e da ciência mesma.

De minha parte, não duvido de que essa imperiosa necessidade seja inata, inscrita em algum lugar na linguagem do código genético, nem de que se desenvolva espontâneamente. Fora da espécie humana, não encontramos, em parte alguma no reino animal, organizações sociais altamente diferenciadas, exceto em alguns insetos: formigas, cupins ou abelhas. Nos insetos sociais, a estabilidade das instituições não

deve quase nada a uma herança cultural, mas tudo à transmissão genética. O comportamento social é inteiramente inato, automático.

No homem, as instituições sociais, puramente culturais, jamais poderão atingir tal estabilidade. Aliás, quem desejaria isso? A invenção dos mitos e das religiões, a construção de vastos sistemas filosóficos, são o preço que o homem teve de pagar para sobreviver enquanto animal social, sem se dobrar a um puro automatismo. Mas a herança puramente cultural não seria bastante segura, bastante poderosa por si só, para escorar as estruturas sociais. A essa herança era necessário um suporte genético, que fizesse dela um alimento exigido pelo espírito. Se não fôsse assim, como explicar a universalidade, em nossa espécie, do fenômeno religioso na base da estrutura social? Ademais, como explicar que, na imensa diversidade dos mitos, das religiões ou das ideologias filosóficas, se encontre a mesma «forma» essencial?

as ontogenias míticas e metafísicas

É fácil ver que as «explicações» destinadas a fundar a lei, apaziguando a angústia, são tôdas «histórias» ou, mais exatamente, ontogenias. Quase todos os mitos primitivos se reportam a heróis mais ou menos divinos, cujo gesto explica as origens do grupo e funda sua estrutura social em tradições intocáveis: não se refaz a história. As grandes religiões também são assim, repousando na história da vida de um profeta inspirado que, se não é o fundador de tôdas as coisas, representa-o, fala por êle e diz a história dos homens, assim como seu destino. De tôdas as grandes religiões, o judeu-cristianismo é, sem dúvida, a mais primitiva, em virtude de sua estrutura historicista, diretamente vinculada ao gesto de uma tribo beduína, antes de ser enriquecida por um profeta divino. O budismo, ao contrário, mais altamente diferenciado, vincula-se ùnicamente, em sua

forma original, ao karma, à lei transcendente que rege o destino individual. Trata-se de uma história das almas, mais que dos homens.

De Platão a Hegel e Marx, todos os grandes sistemas filosóficos propõem ontogenias ao mesmo tempo explicativas e normativas. Em Platão, é verdade, a ontogenia é às avessas. Na história, êle apenas vê corrupção gradual das formas ideais e, na «República», é uma máquina de remontar o curso do tempo que, em suma, o filósofo grego quer pôr em funcionamento.

Para Marx como para Hegel, a história se desenrola segundo um plano imanente, necessário e favorável. O imenso poder da ideologia marxista sôbre os espíritos não é devido sòmente à sua promessa de uma libertação do Homem, mas também, e sem dúvida antes de tudo, à sua estrutura ontogênica, à explicação que ela fornece, completa e detalhada, da história passada, presente e futura. Entretanto, limitado à história humana e mesmo revestido das certezas da «ciência», o materialismo histórico permaneceria incompleto. Seria necessário acrescentar-lhe o materialismo dialético que, êste sim, fornece a interpretação total que o espírito exige: a história humana e a do cosmo nêle são associadas como obedecendo às mesmas leis eternas.

◈

a ruptura da «antiga aliança» animista e o mal da alma moderna

Se é verdade que a necessidade de uma explicitação completa é inata, que sua ausência é fonte de angústia profunda; se a única forma ou explicação capaz de apaziguar a angústia é a de uma história total que revela a significação do Homem, reservando-lhe nos planos da natureza um lugar necessário; se, para parecer verdadeira, significante, apaziguante, a «explicação» deve fundir-se na longa tradição

animista, compreendemos então por que foram necessários tantos milênios para que aparecesse no reino das idéias a do conhecimento objetivo como *única* fonte de verdade autêntica.

Essa idéia austera e fria, que não propõe nenhuma explicação, mas impõe uma ascética renúncia a qualquer outro alimento espiritual, não podia acalmar a angústia inata. Ao contrário, a exasperava. Ela pretendia, com um só golpe, estirpar uma tradição cem vêzes milenar, assimilada à própria natureza humana. Denunciava a antiga aliança animista do Homem com a natureza, deixando no lugar dêsse vínculo precioso apenas uma busca ansiosa num universo gelado de solidão. Como uma tal idéia, que parecia não ter a seu favor senão uma puritana arrogância, podia ser aceita? Ela não o foi; ainda não o é. E, se apesar de tudo, se impõe, é em virtude ùnicamente de seu prodigioso poder de performance.

Em três séculos, a ciência, fundada pelo postulado de objetividade, conquistou seu lugar na sociedade: na prática, mas não nas almas. As sociedades modernas são construídas sôbre a ciência. Devem-lhe sua riqueza, seu poder e a certeza de que riquezas e podêres bem maiores, amanhã, ainda serão, caso êle queira, acessíveis ao Homem. Mas também, assim como uma «escolha» inicial na evolução biológica de uma espécie pode engajar o futuro de tôda a sua descendência, assim a escolha, inconsciente em sua origem, de uma *prática* científica lançou a evolução da cultura num caminho em sentido único; trajeto que o progressismo cientista do século XIX via desembocar infalìvelmente num desabrochamento prodigioso da humanidade, ao passo que hoje vemos cavar-se diante de nós um abismo de trevas.

As sociedades modernas aceitaram as riquezas e os podêres que a ciência descobria para elas. Mas não aceitaram, mal a ouviram, a mais profunda mensa-

gem da ciência: a definição de uma nova e única fonte de verdade, a exigência de uma revisão total dos fundamentos da ética, de uma ruptura radical com a tradição animista, o abandono definitivo da «antiga aliança», a necessidade de forjar uma nova. Armadas de todos os podêres, gozando de tôdas as riquezas que devem à Ciência, nossas sociedades ainda tentam viver e ensinar sistemas de valôres já destruídos na raiz por essa mesma ciência.

Nenhuma sociedade antes da nossa conheceu uma dilaceração semelhante. Nas culturas primitivas como nas clássicas, as fontes do conhecimento e as dos valôres eram confundidas pela tradição animista. Pela primeira vez na história, uma civilização tenta edificar-se, permanecendo desesperadamente atada, para justificar seus valôres, à tradição animista, e abandonando-a como fonte de conhecimento, de *verdade*. As sociedades «liberais» do Ocidente ainda ensinam, da bôca para fora, como base de sua moral, uma repugnante mistura de religiosidade judeu-cristã, de progressismo cientista, de crença em direitos «naturais» do homem e de pragmatismo utilitarista. As sociedades marxistas professam sempre a religião materialista e dialética da história; quadro moral aparentemente mais sólido que o das sociedades liberais, mas talvez mais vulnerável, em virtude da própria rigidez que até aqui se tinha feito sua fôrça. Seja como fôr, todos os sistemas enraizados no animismo estão fora do conhecimento objetivo, fora da verdade, são estrangeiros e, definitivamente, *hostis* à ciência, que querem utilizar, mas não respeitar e servir. O divórcio é tão grande, a mentira tão flagrante, que inquieta e dilacera a consciência de qualquer homem provido de alguma cultura, dotado de alguma inteligência e habilitado pela ansiedade moral que é a fonte de tôda criação. Isto é, a consciência de todos aquêles, entre

os homens, que arcam e arcarão com as responsabilidades da sociedade e da cultura em sua evolução.

O mal da alma moderna é essa mentira na raiz do ser moral e social. É êste mal, mais ou menos confusamente diagnosticado, que provoca o sentimento de temor, senão de ódio, em todo caso de alienação, que tantos homens de hoje experimentam em relação à cultura científica. Mais freqüentemente é para com os subprodutos tecnológicos da ciência que a aversão se exprime abertamente: a bomba, a destruição da Natureza, a demografia ameaçadora. É fácil replicar que a tecnologia não é a ciência e que, ademais, o emprêgo da energia atômica, em breve, será indispensável à sobrevivência da humanidade; que a destruição da natureza denuncia uma tecnologia insuficiente e não muita tecnologia; que a explosão demográfica é devida a que milhões de crianças são salvas da morte a cada ano: devemos novamente deixá-las morrer?

Discurso superficial, que confunde os sintomas com as causas profundas do mal. É à mensagem essencial da ciência que se dirige a recusa. É o mêdo do sacrilégio: do atentado aos valôres. Mêdo inteiramente justificado. É verdade que a ciência atenta contra os valôres. Não diretamente, uma vez que ela não é juiz dêles e *deve* ignorá-los; mas destrói tôdas as ontogenias míticas ou filosóficas, nas quais a tradição animista, dos aborígenes australianos aos dialéticos materialistas, fazia repousar os valôres, a moral, os deveres, os direitos, as proibições. Se aceita essa mensagem em tôda a sua significação, é preciso que o Homem enfim desperte de seu sonho milenar para descobrir sua solidão total, sua estranheza radical. Agora, sabe que, como um cigano, está à margem do universo onde deve viver. Universo surdo à sua música, indiferente às suas esperanças, como a seus sofrimentos ou a seus crimes.

Mas então quem define o crime? Quem dita o bem e o mal? Todos os sistemas tradicionais colocavam a ética e os valôres fora do alcance do Homem. Os valôres não lhe pertenciam: impunham-se e era êle que lhes pertencia. Hoje sabe que pertencem apenas a êle, e, por ser enfim o seu senhor, parece-lhe que se dissolvem no vazio indiferente do universo. O homem moderno, então, se volta para ou, antes, contra a ciência, cujo terrível poder de destruição não só dos corpos, mas também da própria alma, êle mede agora.

◈

os valôres e o conhecimento

Onde o recurso? Devemos admitir uma vez por tôdas que a verdade objetiva e a teoria dos valôres constituem para sempre domínios estranhos, impenetráveis um ao outro? Tal é a atitude que parece tomar uma grande parte dos pensadores modernos, quer sejam escritores, filósofos, ou mesmo homens de ciência. Acho-a não só inaceitável para a imensa maioria dos homens, em quem ela não pode senão manter e avivar a angústia, mas absolutamente errônea, e isso por duas razões essenciais:

— primeiro, porque os valôres e o conhecimento sempre e necessàriamente estão associados na ação como no discurso;

— em seguida e sobretudo, porque *a definição mesma do conhecimento «verdadeiro» repousa, em última análise, num postulado de ordem ética.*

Cada um dêsses dois pontos exige um breve desenvolvimento. A ética e o conhecimento estão inevitàvelmente vinculados na ação e por ela. A ação emprega, ou questiona, *ao mesmo tempo* o conhecimento e os valôres. Tôda ação significa uma ética, serve ou desserve certos valôres; ou constitui uma escolha de valôres, ou pretende isso. Mas, por outro lado, um

conhecimento é necessàriamente suposto em tôda a ação, ao passo que, de modo inverso, a ação é uma das duas fontes necessárias do conhecimento.

Num sistema animista, a interpretação da ética e do conhecimento não cria conflito, uma vez que o animismo evita tôda e qualquer distinção radical entre essas duas categorias: êle as considera como dois aspectos de uma mesma realidade. A idéia de uma ética social fundada em «direitos» supostamente «naturais» do homem, exprime essa atitude, a qual se revela também — só que de modo muito mais sistemático e firme — nas tentativas de explicitação da moral implícita do marxismo.

A partir do momento em que estabelecemos o postulado de objetividade como condição necessária de tôda verdade no conhecimento, uma distinção radical, indispensável à procura da verdade mesma, se institui entre o domínio da ética e o do conhecimento. O conhecimento em si mesmo se exclui de todo juízo de valor (que não «de valor epistemológico»), ao passo que a ética, por essência *não objetiva,* para sempre está excluída do campo do conhecimento.

Em definitivo, foi essa distinção radical, posta como um axioma, que criou a ciência. Sinto-me tentado a notar que, se êsse acontecimento único na história da cultura se produziu no Ocidente cristão, e não no interior de uma outra civilização, talvez tenha sido, em parte, graças ao fato de que a Igreja reconhecia uma distinção fundamental entre o domínio do sagrado e o do profano. Tal distinção não permitia sòmente que a ciência buscasse seus caminhos (contanto que não invadisse o domínio do sagrado), mas preparava o espírito para a distinção muito mais radical estabelecida pelo princípio de objetividade. Os ocidentais podem sentir alguma dificuldade em compreender que, para certas religiões, não existe, não pode existir nenhuma distinção entre o sagrado e o profano. Para

o hinduísmo tudo é do domínio do sagrado; nêle, a própria noção de profano é incompreensível.

Isso foi apenas um parêntese. Voltemos ao que nos interessa. O postulado de objetividade, denunciando a «antiga aliança», interdita de imediato tôda confusão entre juízos de conhecimento e juízos de valor. Resta, porém, que essas duas categorias estão inevitàvelmente vinculadas na ação, inclusive no discurso. Para permanecermos fiéis ao princípio, julgaremos, portanto, que todo discurso (ou ação) só deve ser considerado como significante, como *autêntico,* se (ou na medida em que) explicita e conserva a distinção das duas categorias que êle associa. A noção de autenticidade se torna, assim definida, o domínio comum onde se recuperam a ética e o conhecimento; onde os valôres e a verdade, associados mas não confundidos, revelam sua significação plena ao homem atento que experimenta sua repercussão. Em contrapartida, o discurso *inautêntico* em que as duas categorias se amalgamam e confundem só pode conduzir ao não-sentido mais pernicioso, às mentiras mais criminosas, ainda que inconscientes.

Vemos bem que é no discurso «político» (entendo «discurso» sempre no sentido cartesiano) que êsse perigoso amálgama é praticado mais constante e sistemàticamente. E isso não só pelos políticos de vocação. Os próprios homens de ciência, fora do seu domínio, com freqüência se revelam perigosamente incapazes de distinguir entre a categoria dos valôres e a do conhecimento.

Mas isso foi um outro parêntese. Voltemos às fontes do conhecimento. O animismo, dissemos, não quer nem pode estabelecer uma discriminação absoluta entre proposições de conhecimento e juízos de valor; pois, se uma intenção — por mais cuidadosamente disfarçada que seja — é suposta presente no Universo, que sentido teria uma tal distinção? Num sistema

objetivo, ao contrário, tôda confusão entre conhecimento e valôres é *proibida*. Mas (e trata-se do ponto essencial, a articulação lógica que associa, na raiz, conhecimento e valôres) essa proibição, êsse «primeiro mandamento» que funda o conhecimento objetivo, não é e não poderia ser objetivo: é uma regra moral, uma *disciplina*. O conhecimento verdadeiro ignora os valôres. Para fundá-lo, porém, é preciso um juízo ou, antes, um *axioma* de valor. É evidente que colocar o postulado da objetividade como condição do conhecimento verdadeiro *constitui uma escolha ética e não um juízo de conhecimento, uma vez que, segundo o próprio postulado, não poderia haver conhecimento «verdadeiro» anterior a essa escolha arbitral.* O postulado de objetividade, para estabelecer a *norma* do conhecimento, define um valor que é o próprio conhecimento objetivo. Aceitar o postulado de objetividade é, portanto, enunciar a proposição de base de uma ética: *a ética do conhecimento.*

a ética do conhecimento

Na ética do conhecimento, *é a escolha ética de um valor primitivo que funda o conhecimento.* Por meio disso, ela difere radicalmente das éticas animistas que se querem fundadas no «conhecimento» de leis imanentes, religiosas ou «naturais», que se imporiam ao homem. A ética do conhecimento não se impõe ao homem; *ao contrário, é êle que a impõe a si,* tornando-a *axiomàticamente* a condição de autenticidade de todo discurso ou de tôda ação. O *Discurso do Método* propõe uma epistemologia normativa, mas devemos lê-lo, também e antes de tudo, como meditação moral, como ascese do espírito.

O discurso autêntico, por sua vez, funda a ciência e repõe nas mãos dos homens os imensos podêres que, hoje, o enriquecem e o ameaçam, o libertam, mas poderiam também escravizá-lo. As sociedades modernas, tecidas pela ciência, vivendo de seus produtos,

tornaram-se dependentes dela como um intoxicado de sua droga. Devem seu poderio material à ética fundadora do conhecimento, e sua fraqueza moral aos sistemas de valôres, destruídos pelo próprio conhecimento, aos quais ainda tentam referir-se. Trata-se de uma contradição mortal. É ela que cava o abismo que vemos abrir-se sob nossos passos. A ética do conhecimento, criadora do mundo moderno, é a única compatível com êle, a única capaz, uma vez compreendida e aceita, de guiar sua evolução.

◈

Mas será que ela poderia ser compreendida e aceita? Se é verdade, como creio, que a angústia da solidão e a exigência de uma explicação total, constrangedora, são inatas; que essa herança vinda do fundo das idades não é apenas cultural, mas sem dúvida genética — será que podemos pensar que essa ética austera, abstrata, orgulhosa, pode acalmar a angústia, satisfazer a exigência? Não sei. Mas, talvez, no final das contas, não seja totalmente impossível. Talvez, mais ainda que de uma «explicação» que a ética do conhecimento não saberia dar, o homem tenha necessidade de superação e de transcendência? O poder do grande sonho socialista, sempre vivo nas almas, parece testemunhar isso. Nenhum sistema de valôres pode pretender constituir uma verdadeira ética, a não ser que proponha um ideal que transcenda o indivíduo a ponto de justificar, caso necessário, que êste se sacrifique a êle.

Pela altura mesma de sua ambição, a ética do conhecimento talvez pudesse satisfazer essa exigência de superação. Ela define um valor transcendente, o conhecimento verdadeiro, e propõe ao homem não servir-se dêle, mas doravante servi-lo por uma escolha deliberada e consciente. No entanto, ela também

é um humanismo, pois respeita no homem o criador e o depositário dessa transparência.

A ética do conhecimento é igualmente, num certo sentido, «conhecimento da ética», das pulsões, das paixões, das exigências e dos limites do ser biológico. No homem, ela sabe ver o animal, não absurdo mas estranho, precioso por sua própria estranheza, o ser que, pertencendo simultâneamente a dois reinos, à biosfera e ao reino das idéias, é ao mesmo tempo torturado e enriquecido por êsse dualismo dilacerante, que se exprime na arte e na poesia como no amor humano.

Ao contrário, os sistemas animistas, de um modo ou de outro, quiseram ignorar, aviltar ou constranger o homem biológico, fazê-lo horrorizar-se ou terrificar-se com certos traços inerentes à sua condição animal. Em contrapartida, a ética do conhecimento encoraja o homem a respeitar e assumir essa herança, sabendo, quando necessário, dominá-la. Quanto às mais altas qualidades humanas, a coragem, o altruísmo, a generosidade, a ambição criadora, a ética do conhecimento, reconhecendo sua origem sócio-biológica, afirma também seu valor transcendente a serviço do ideal que ela define.

◈

a ética do conhecimento e o ideal socialista

Enfim, a ética do conhecimento, a meu ver, é a única atitude ao mesmo tempo racional e deliberadamente idealista sôbre a qual poderia ser edificado um verdadeiro socialismo. Êsse grande sonho do século XIX vive sempre, nas almas jovens, com uma intensidade dolorosa. Dolorosa por causa das traições sofridas por êsse ideal, e dos crimes cometidos em seu nome. É trágico, talvez inevitável, que essa profunda aspiração não tenha encontrado sua doutrina filosófica senão sob forma de uma ideologia animista.

É fácil ver que o profetismo historicista fundado no materialismo dialético estava, desde o seu nascimento, carregado de tôdas as ameaças que, com efeito, se realizaram. Mais ainda talvez que os outros animismos, o materialismo histórico repousa numa confusão total das categorias de valor e de conhecimento. É essa confusão que lhe permite, num discurso profundamente inautêntico, proclamar que estabeleceu «cientìficamente» as leis da história, às quais o homem, não querendo entrar no nada, não teria outro recurso nem outro dever, senão obedecer. De uma vez por tôdas, devemos renunciar a essa ilusão que, quando não é mortal, pelo menos é pueril. Como um socialismo autêntico poderia ser construído sôbre uma ideologia inautêntica por essência, derrisão da ciência em que ela pretende, sinceramente no espírito dos seus adeptos, apoiar-se? A única esperança do socialismo não reside numa «revisão» da ideologia que o domina há mais de um século, mas no abandono total dessa ideologia.

Onde, então, encontrar a fonte de verdade e a inspiração moral de um humanismo socialista realmente *científico*, senão nas fontes da ciência mesma, na ética que funda o conhecimento, tornando-o, por livre escolha, o valor supremo, medida e garantia de todos os outros valôres. Ética que funda a responsabilidade moral na própria liberdade dessa escolha axiomática. Aceita como base das instituições sociais e políticas, portanto como medida de sua autenticidade, de seu valor, só a ética do conhecimento poderia levar ao socialismo. Ela impõe instituições destinadas à defesa, à extensão, ao enriquecimento do Reino transcendente das idéias, do conhecimento, da criação. Reino que habita o homem e onde, cada vez mais liberto das pressões materiais como das servidões mentirosas do animismo, enfim êle poderia viver autênticamente, defendido por instituições que, vendo nêle ao

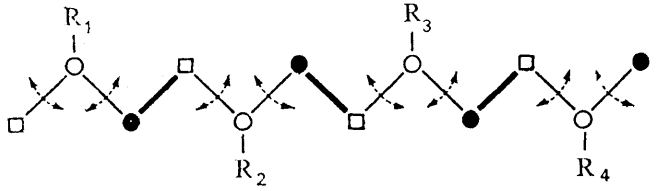
mesmo tempo o sujeito e o criador do Reino, deveriam servi-lo em sua essência mais singular e mais preciosa.

Talvez se trate de uma utopia, mas não de um sonho incoerente. É uma idéia que se impõe pela fôrça única de sua coerência lógica. Tal é a conclusão a que a busca da autenticidade leva necessàriamente. Rompeu-se a antiga aliança. Enfim, o homem sabe que está sòzinho na imensidão indiferente do universo, de onde emergiu por acaso. Não mais do que seu destino, seu dever não está escrito em lugar algum. Cabe-lhe escolher entre o Reino e as trevas.

APÊNDICES

I. ESTRUTURA DAS PROTEÍNAS

As proteínas são macromoléculas constituídas pela polimerização linear de corpos chamados «aminoácidos». A estrutura geral da cadeia «polipeptídica» que resulta dessa polimerização é a seguinte:

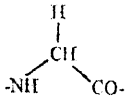


Nessa representação os círculos brancos e negros e os quadrados brancos correspondem a diversos agrupamentos de átomos (○ = CH; ● = CO; □ = NH), ao passo que as letras R1, R2, etc., representam diferentes radicais orgânicos. Os 20 radicais de aminoácidos, que são os constituintes universais das proteínas, estão representados no quadro I.

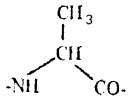
Vemos que a cadeia compreende três tipos de ligação entre átomos ou grupos de átomos, a saber:

1) entre círculo branco e círculo negro (CH — CO);
2) entre círculo branco e quadrado branco (CH — NH);
3) entre círculo negro e quadrado branco (CO — NH).

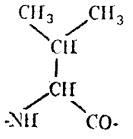
QUADRO I
RADICAIS AMINOÁCIDOS



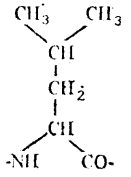
Glycyl
(Gly)



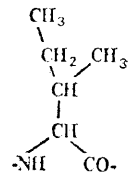
Alanyl
(Ala)



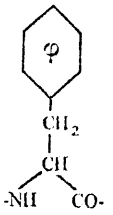
Valyl
(Val)



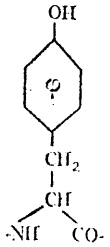
Leucyl
(Leu)



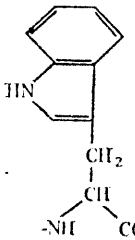
Isoleucyl
(Ileu)



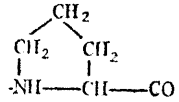
Phénylalanyl
(Phe)



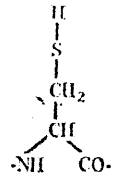
Tyrosyl
(Tyr)



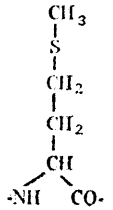
Tryptophanyl
(Try)



Prolyl
(Pro)

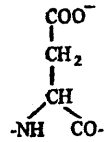


Cystéinyl
(Cys)

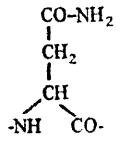


Méthionyl
(Met)

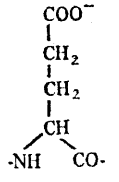
II) Hydrophiles



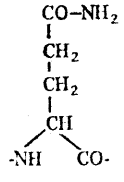
Aspartyl
(Asp)



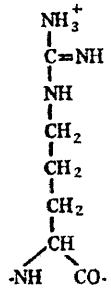
Asparagyl
(AspN)



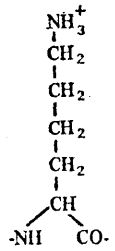
Glutamyl
(Glu)



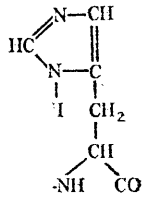
Glutaminyl
(GluN)



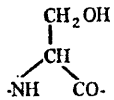
Arginyl
(Arg)



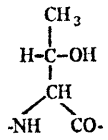
Lysyl
(Lys)



Histidyl
(His)



Séryl
(Ser)



Thréonyl
(Thr)

Esta última ligação (dita «peptídica») é rígida (traços grossos na figura da p. 201) : ela imobiliza, um em relação ao outro, os átomos que associa. Ao contrário, as duas ligações permitem uma rotação livre (flechas pontilhadas) dos átomos um em relação ao outro. Isso permite que a fibra polipeptídica se dobre sôbre si mesma de modo extremamente complexo e variado. Só a acumulação dos átomos (notadamente aquêles que constituem os radicais R1, R2, etc.) limita em princípio essas possibilidades de dobra.

Contudo (ver p. 105s), nas proteínas globulares nativas, tôdas as moléculas de uma mesma espécie química (definida pela *seqüência* dos radicais na cadeia) adotam a mesma configuração dobrada. A figura 5 dá esquemàticamente o percurso da cadeia polipeptídica numa enzima, a papaína. Vemos quanto êsse percurso é complexo e, aparentemente, incoerente.

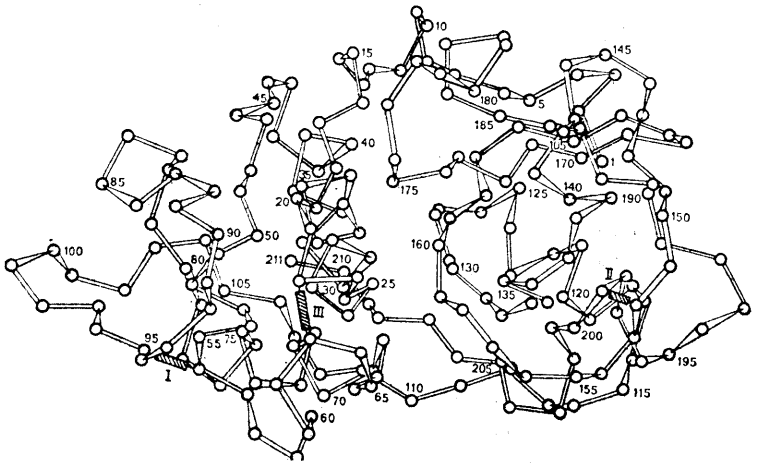


Fig. 5. Representação esquemática das dobras da cadeia peptídica na molécula de papaína

(J. Drenth, J. N. Jansonius, R. Koekoek, H. M. Swen e B. G. Wolthers, Nature, 218, pp. 929-932 (1968).

II. ÁCIDOS NUCLEICOS

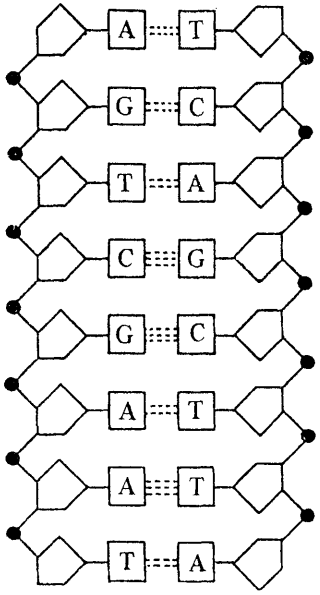
Os ácidos nucleicos são macromoléculas que resultam da polimerização linear de corpos chamados «nucleótidos». Êstes são constituídos pela associação de um açúcar com uma base azotada de um lado, um radical fosforila do outro. A polimerização ocorre por intermédio dos agrupamentos fosforilas que associam cada resíduo de açúcar ao precedente e ao seguinte, formando assim uma cadeia «polinucleótida».

No ADN (ácido desoxiribonucleico) encontramos quatro nucleótidos que diferem pela estrutura da base azotada constituinte. Essas quatro bases, chamadas Adenina, Guanina, Citosina e Timina, geralmente são marcadas com A, G, C e T. São as letras do alfabeto genético. Por razões estéricas, a Adenina (A) no ADN tende a formar espontâneamente uma associação não-covalente (ver p. 63s) com a Timina (T), ao passo que a Guanina (G) se associa com a Citosina (C).

O ADN é constituído por *duas* fibras polinucleótidas associadas por intermédio dessas ligações não-covalentes específicas. Na fibra dupla, A de uma fibra é associada a T da outra, G a C; T a A e C a G. As duas fibras são, portanto, *complementares*.

Essa estrutura está esquemàticamente representada pela figura abaixo, onde os pentágonos simbolizam os radicais de açúcar, os círculos negros, os átomos de

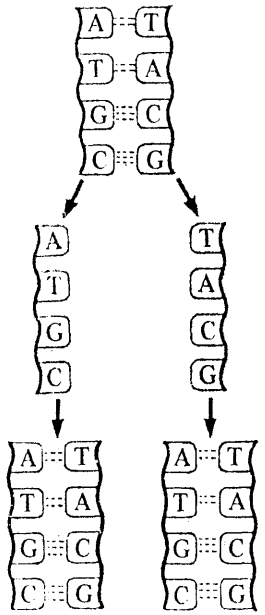
Fósforo que garantem a continuidade de cada uma das duas cadeias, ao passo que os quadrados marcados com A, T, G, C representam as bases acasaladas por pares (A-T; G-C; T-A; C-G), graças a interações não-covalentes, figuradas em pontilhado. A



estrutura pode aceitar tôdas as seqüências possíveis de pares. Ela não é limitada em comprimento.

A *replicação* dessa molécula ocorre por separação das duas fibras, seguida pela reconstituição, nucleótido por nucleótido, das duas complementares, o que podemos representar, em notação simplificada, e nos limitando a quatro pares, do modo indicado na figura ao lado.

Cada uma das duas moléculas assim sintetizadas contém uma das fibras da molécula mãe e uma fibra neoformada por acasalamento específico, nucleótido por nucleótido. Essas duas moléculas são idênticas entre si, como também à molécula mãe. Tal é o mecanismo, muito simples em seu princípio, da invariância replicativa.



As mutações resultam dos diversos tipos de acidentes que podem afetar êsse mecanismo microscópico. Hoje, compreendemos muito bem o mecanismo químico de alguns dêles. Por exemplo, a substituição de um par de nucleótidos por um outro é devida ao fato de que as bases azotadas podem, além de seu estado «normal», adotar excepcional e transitòriamente uma

forma tautomérica, na qual a capacidade de acasalamento específico da base é de algum modo «invertida» (por exemplo, a base C na forma «excepcional» se acasala com A e não com G). Conhecemos agentes químicos que aumentam consideràvelmente a probabilidade, isto é, a freqüência dêsses acasalamentos «ilícitos». Êsses agentes são poderosos «mutagenes».

Outros agentes químicos, capazes de se inserir entre os nucleótidos na fibra de ADN, a deformam e favorecem assim acidentes como deleção ou adição de um ou vários nucleótidos.

Enfim, as radiações ionisantes (RX e raios cósmicos) provocam notadamente diversos tipos de deleções ou de «mástiques».

III. O CÓDIGO GENÉTICO

A estrutura e as propriedades de uma proteína são definidas pela seqüência (a ordem linear) dos radicais aminoácidos no polipeptido (cf. p. 107). Essa seqüência é determinada pela dos nucleótidos num segmento de fibra do ADN. O código genético (*senso stricto*) é a regra que associa uma seqüência polipeptídica a uma determinada seqüência polinucleotídica. Como há 20 resíduos aminoácidos a especificar e sòmente 4 «letras» (quatro nucleótidos) no alfabeto do ADN, são necessários vários nucleótidos para especificar um aminoácido. De fato, o código é de «triplés»: cada aminoácido é especificado por uma seqüência de *três nucleótidos*. As correspondências são dadas no quadro da p. 210.

Em primeiro lugar devemos notar que a maquinaria da tradução não utiliza diretamente as seqüências nucleotídicas do ADN, mas a «transcrição» de *uma* das duas fibras num polinucleótido de uma haste, dito «ácido ribonucleico mensageiro» (ARN mensageiro). Os polinucleótidos de ARN diferem dos ADN por alguns detalhes de estrutura, sobretudo pela substituição da base Timina (T) pela base *uracila* (U). Como é o ARN mensageiro que serve de matriz para a reunião seqüencial dos aminoácidos destinados a formar o polipeptido, o código está representado nesse quadro em sua escrita em alfabeto de ARN e não de ADN.

TABLEAU II

LE CODE GÉNÉTIQUE

I ↓ / II →	U	C	A	G	↓ III
U	Phe Phe Leu Leu	Ser Ser Ser Ser	Tyr Tyr "N.sens" "N.sens"	Cys Cys "N.sens" Try	U C A G
C	Leu Leu Leu Leu	Pro Pro Pro Pro	His His GluN GluN	Arg Arg Arg Arg	U C A G
A	Ileu Ileu Ileu Met	Thr Thr Thr Thr	AspN AspN Lys Lys	Ser Ser Arg Arg	U C A G
G	Val Val Val Val	Ala Ala Ala Ala	Asp Asp Glu Glu	Gly Gly Gly Gly	U C A G

Neste quadro, a primeira letra de cada triplé é lida na coluna vertical da esquerda, a segunda na fileira horizontal, a terceira na coluna vertical da direita. Os nomes dos radicais aminoácidos correspondentes são dados de forma abreviada (cf. Quadro dos radicais, pp. 202 e 203).

Vemos que, para a maioria dos aminoácidos, existem várias notações diferentes, sob forma de «triplés» de nucleótidos. Num alfabeto de quatro letras, com efeito, podemos formar $4^3 = 64$ «palavras» de três letras. Ora, só há a especificar 20 resíduos.

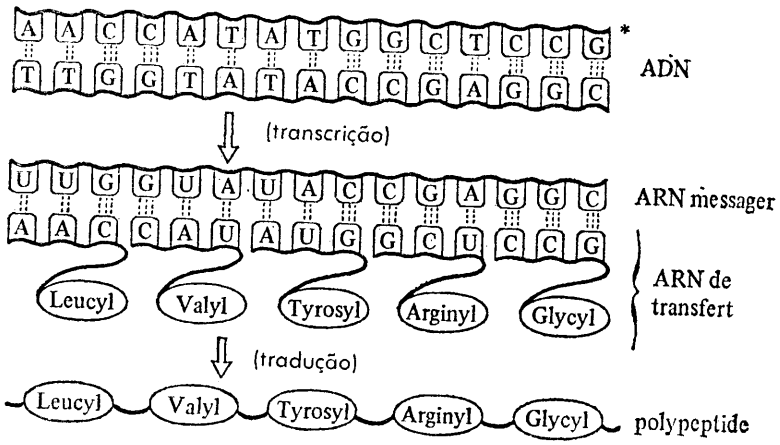
Em contrapartida, três triplés (UAA, UAG, UGA) são considerados como não-sentido, porque não designam nenhum aminoácido. Contudo, desempenham um papel importante como sinais de pontuação na leitura da seqüência nucleotídica.

O mecanismo da tradução pròpriamente dita é complexo. Nela intervêm numerosos constituintes macromoleculares. O conhecimento dêsse mecanismo não é indispensável para a compreensão do texto. Basta mencionar os intermediários que detêm, em suma, a chave da tradução. Êstes são ARN ditos de «transferência». Com efeito, estas moléculas comportam:

1º um agrupamento «aceitante» de aminoácidos; enzimas especiais reconhecem por um lado um aminoácido, por outro um ARN de transferência particular, e catalisam a associação (covalente) do aminoácido com a molécula de ARN;

2º uma seqüência *complementar* de cada um dos triplés do código, o que permite a cada ARN de transferência acasalar-se ao triplé correspondente do ARN mensageiro.

Êsse acasalamento ocorre em associação com um constituinte complexo (o ribossomo) que, em suma, desempenha o papel de «base firme» para a reunião dos diversos constituintes do mecanismo. O ARN mensageiro é lido seqüencialmente, um mecanismo, ainda mal compreendido, permitindo que o ribossomo progrida, triplé por triplé, ao longo da cadeia polinucleotídica. Por sua vez, cada triplé se acasala na superfície do ribossomo com o ARN mensageiro correspondente, portador do aminoácido especificado por



êsse triplé. Em cada etapa, uma enzima catalisa a formação de uma ligação peptídica entre o aminoácido levado pelo ARN e o aminoácido precedente, na extremidade da cadeia polipeptídica já formada, que assim cresce de uma unidade. Depois do que, o ribossomo progride de um triplé e o processo recomeça.

A figura acima dá um esquema de princípio do mecanismo de transferência da informação correspondente a uma seqüência (arbitràriamente escolhida) no ADN.

O ARN mensageiro nesta figura é supostamente transcrito a partir da fibra de ADN marcada com um asterisco. Na realidade, os ARN de transferência se acasalam, um depois do outro, ao mensageiro. Para maior clareza, representamo-los aqui acasalados simultâneamente.

IV. SÔBRE A SIGNIFICAÇÃO DO SEGUNDO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

Escreveu-se tanto sôbre a significação do segundo princípio, sôbre a entropia, sôbre a «equivalência» entre a entropia negativa e a informação, que hesitamos em retomar brevemente êste assunto. Entretanto, uma lembrança poderá ser útil a alguns leitores.

Em sua primeira forma, puramente termodinâmica (enunciada por Clausius em 1859, como generalização do Teorema de Carnot), o segundo princípio prevê que, *num recinto energèticamente isolado,* tôdas as diferenças de temperatura devem tender a se anular *espontâneamente.* Ou ainda, e isso dá no mesmo, o princípio estipula que, no interior de tal recinto, onde a temperatura seria *uniforme,* é impossível que apareçam diferenças de potencial térmicas entre diferentes regiões do sistema. Donde a necessidade de gastar energia para esfriar uma geladeira, por exemplo. Ora, num recinto com temperatura uniforme, onde não subsiste mais nenhuma diferença de potencial, fenômeno (macroscópico) algum pode ocorrer. O sistema é *inerente.* É nesse sentido que dizemos que o segundo princípio prevê a degradação inelutável da energia no interior de um sistema isolado, tal como o Universo. A «entropia» é a quantidade termodinâmica que *mede* o nível de degradação da energia de

um sistema. Em conseqüência, conforme o segundo princípio, todo e qualquer fenômeno se acompanha necessàriamente de um aumento de entropia no interior do sistema em que se desenrola.

É o desenvolvimento da teoria cinética da matéria (ou mecânica estatística) que revela a significação mais profunda e mais geral do segundo princípio. A «degradação da energia», ou o aumento da entropia, é uma conseqüência estatìsticamente previsível dos movimentos e colisões, ao acaso, das moléculas. Seja, por exemplo, dois recintos com temperaturas diferentes, postos em comunicação um com o outro. As moléculas «quentes» (isto é, rápidas) e as moléculas «frias» (isto é, lentas) vão passar, ao acaso de seu curso, de um recinto para o outro, o que anulará inevitàvelmente a diferença de temperatura entre os dois recintos. Por êsse exemplo, vemos que o aumento de entropia num tal sistema está ligado a um aumento de *desordem:* as moléculas lentas e rápidas, antes separadas, agora estão misturadas, e a energia total do sistema se repartirá estatìsticamente entre tôdas, em conseqüência de suas colisões. Além disso os dois recintos, no comêço discerníveis (por sua temperatura), se tornam equivalentes. Antes da mistura, o sistema podia realizar algum trabalho, pois que comportava uma diferença de potencial entre os dois recintos. Uma vez atingido o equilíbrio estatístico, fenômeno algum se pode produzir no interior do sistema.

Se o aumento de entropia mede o aumento da *desordem* num sistema, um aumento de ordem corresponde a uma diminuição de entropia, ou, como se prefere por vêzes dizer, a um enriquecimento em entropia negativa (ou «neguentropia»). No entanto, o grau de ordem de um sistema é definível numa outra linguagem: a da informação. Nesta linguagem, a ordem de um sistema é igual à quantidade de informação necessária à *descrição* dêsse sistema. Donde a

idéia, devida a Szilard e Léon Brillouin, de uma certa equivalência entre «informação» e «neguentropia» (ver p. 71). Idéia extremamente fecunda, mas que pode dar lugar a generalizações ou assimilações imprudentes. Contudo, permanece legítimo considerar que um dos enunciados fundamentais da teoria da informação, a saber, que a transmissão de uma mensagem se acompanha necessàriamente de uma certa dissipação da informação que ela contém, é o equivalente, em informática, do segundo princípio em termodinâmica.

ÍNDICE

Prefácio 9

Capítulo I: Objetos Estranhos 13

o natural e o artificial 15 — as dificuldades de um programa espacial 17 — objetos dotados de um projeto 20 — máquinas que se constroem a si mesmas 22 — máquinas que se reproduzem 23 — propriedades estranhas: invariância e teleonomia 24 — o "paradoxo" da invariância 29 — a teleonomia e o princípio de objetividade 31.

Capítulo II: Vitalismos e Animismos 33

a relação de prioridade entre invariância e teleonomia: dilema fundamental 35 — o vitalismo metafísico 37 — vitalismo cientista 39 — a "projeção animista" e a antiga aliança 41 — o progressismo cientista 43 — a projeção animista no materialismo dialético 44 — necessidade de uma epistemologia crítica 48 — fracasso epistemológico do materialismo dialético 49 — a ilusão antropocentrista 51 — a biosfera: acontecimento singular não deduzível dos primeiros princípios 52.

Capítulo III: Os Demônios de Maxwell 55

as proteínas como agentes moleculares da teleonomia estrutural e funcional 57 — as proteínas-enzimas como cataliza-

dores específicos 60 — ligações covalentes e não-covalentes 66 — a noção de complexo estereoespecífico não-covalente 68 — o demônio de Maxwell 70.

Capítulo IV: Cibernética Microscópica 73

coerência funcional da maquinaria celular 75 — proteínas regulatórias e lógica das regulações 76 — mecanismo das interações alostéricas 82 — regulação da síntese das enzimas 85 — a noção de gratuidade 89 — "wholismo" e reducionismo 91.

Capítulo V: Ontogênese Molecular 95

a associação espontânea das subunidades nas proteínas oligométricas 99 — estruturação espontânea de partículas complexas 100 — morfogênese microscópica e morfogênese macroscópica 103 — estrutura primária e estrutura globular das proteínas 105 — formação das estruturas globulares 107 — o falso paradoxo do "enriquecimento" epigenético 109 — a última ratio das estruturas teleonômicas 111 — a interpretação da mensagem 112.

Capítulo VI: Invariância e Perturbações 115

Platão e Heráclito 117 — os invariantes anatômicos 119 — os invariantes químicos 120 — o ADN como invariante fundamental 122 — a tradução do código 125 — irreversibilidade da tradução 127 — perturbações microscópicas 129 — incerteza operacional e incerteza essencial 130 — a evolução: criação absoluta e não-revelação 132.

Capítulo VII: Evolução 135

o acaso e a necessidade 137 — riqueza da fonte de acaso 139 — "paradoxo" da estabilidade das espécies 140 — a irreversibilidade da evolução e o segundo princípio 141 — origem dos anticorpos 142 — o comportamento como orientador das pressões de seleção 144 — a linguagem e a evolução do homem 147 — a aquisição primária da linguagem 151 — a aquisição da linguagem programada no desenvolvimento epigenético do cérebro 152.

Capítulo VIII: As Fronteiras 155

as fronteiras atuais do conhecimento biológico 157 — o problema das origens 159 — o enigma da origem do código 161 — a outra fronteira: o sistema nervoso central 164 — funções do sistema nervoso central 167 — a análise das impressões sensoriais 168 — inatismo e empirismo 170 — a função da simulação 172 — a ilusão dualista e a presença do espírito 176.

Capítulo IX: O Reino e as Trevas 177

pressões da seleção na evolução do homem 179 — perigos de degradação genética nas sociedades modernas 181 — a seleção das idéias 184 — a exigência de explicação 185 — as ontogenias míticas e metafísicas 186 — a ruptura da "antiga aliança" animista e o mal da alma moderna 187 — os valôres e o conhecimento 191 — a ética do conhecimento 194 — a ética do conhecimento e o ideal socialista 196.

Apêndices 199

1. Estrutura das proteínas 201 — 2. Ácidos nucleicos 205 — 3. O Código Genético 209 — 4. Sôbre a significação do segundo princípio da termodinâmica 213.

Êste Livro foi composto e impresso nas oficinas gráficas da Editôra VOZES Limitada, Rua Frei Luís, 100, Petrópolis, Estado do Rio de Janeiro, Brasil, no ano de 1971, 70º de sua fundação.

importante como a obra de Galileu ou Darwin. Em poucas palavras, prova o autor que as concepções filosóficas que até agora pensaram a evolução dos sêres vivos como guiada e protegida por uma fôrça ou ímpeto inicial que orientavam os seus caminhos são inteiramente falsas. A evolução da matéria é hoje considerada como um acidente dentro do grande universo regido pela segunda lei da termodinâmica. O fenômeno central da vida é a repetição ao infinito de um ser vivo em outro que nasce dêle.

Diz o autor que a natureza obedece não à lógica dialética, mas, numa primeira fase, ao puro cálculo de probabilidades e, numa segunda, é programada mais rigorosamente do que um computador eletrônico. Êste entrelaçamento do acaso e necessidade faz com que nenhuma teoria científica possa ter a pretensão de englobar a biosfera como sendo dedutível de alguns princípios básicos, como sonham alguns filósofos e cientistas. Ainda é cedo para pensarmos em decifrar totalmente êste código da vida, mas algumas conclusões já podem ser tiradas do que atualmente conhecemos.

Capa: João-Lauro

EDITÔRA VOZES LIMITADA

MATRIZ: RUA FREI LUÍS, 100 - PETRÓPOLIS - RJ.

FILIAIS: RIO: RUA SENADOR DANTAS, 118-I □ SÃO PAULO: RUA SENADOR FEIJÓ, 168 □ BELO HORIZONTE: RUA TUPIS, 85 □ PÔRTO ALEGRE: RUA RIACHUELO, 1280.